



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA
OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL
USADO DE COCINA, DE UNA CAPACIDAD DE 5 LITROS”**

ÁVALOS GAIBOR GUIDO ISRAEL
VELASTEGUÍ ESCOBAR JORGE LUIS

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-10-28

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ÁVALOS GAIBOR GUIDO ISRAEL

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN
DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO DE COCINA, DE
UNA CAPACIDAD DE 5 LITROS”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro
DIRECTOR

Ing. Javier Enrique Orna Chávez
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-10-28

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

VELASTEGUÍ ESCOBAR JORGE LUIS

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN
DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO DE COCINA, DE
UNA CAPACIDAD DE 5 LITROS”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro
DIRECTOR

Ing. Javier Enrique Orna Chávez
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ÁVALOS GAIBOR GUIDO ISRAEL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO DE COCINA, DE UNA CAPACIDAD DE 5 LITROS”**

Fecha de Examinación: 2017-10-30

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro DIRECTOR			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VELASTEGUÍ ESCOBAR JORGE LUIS

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO DE COCINA, DE UNA CAPACIDAD DE 5 LITROS”**

Fecha de Examinación: 2017-10-30

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro DIRECTOR			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ávalos Gaibor Guido Israel

Velasteguí Escobar Jorge Luis

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Guido Israel Ávalos Gaibor, y Jorge Luis Velasteguí Escobar declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Ávalos Gaibor Guido Israel

Cédula de Identidad: 060389710-9

Velasteguí Escobar Jorge Luis

Cédula de Identidad: 060379807-5

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a Dios por brindarme fe, sabiduría y paciencia. A mis padres Gorky Patricio y María Luisa por el sacrificio día tras día, por ser siempre mi inspiración y por tener una educación llena de honradez, perseverancia y solidaridad. A mi hermana María Soledad que siempre me apoyó incondicionalmente y me animó en los momentos más difíciles de mi profesión, gracias por ser mi ejemplo a seguir. A mi novia Suzzy por estar siempre a mi lado en esta etapa de mi vida. A toda mi familia por ser la motivación que me impulsa a seguir superándome.

Guido Israel Ávalos Gaibor

El presente trabajo quiero dedicar a Dios por brindarme sabiduría y salud, a mis padres Juan Velasteguí y Mery Escobar en la formación de valores y encaminarme en la senda del bien, a mis hermanos Hernán, Liliana, Jhony y Anthonny quienes con sus palabras de aliento me motivaban a ser perseverante y cumplir mis metas, a mi hija Nathali Velasteguí por ser mi fuente de inspiración para poder superarme cada día más, a Diego Echeverría, Lilia Schindler y Rudy Schindler por el apoyo incondicional que me han brindado, a todos los docentes que han sido parte de mi formación como profesional, amigos y conocidos que de una u otra manera sin esperar nada a cambio han estado pendiente de mí.

Jorge Luis Velasteguí Escobar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia, que llenan mi vida de cariño y respeto. A los docentes que han colaborado en mi formación técnica y humana dentro de la Escuela Politécnica de Chimborazo. Así también agradezco a mis amigos por brindarme su amistad durante este camino de formación profesional.

Guido Israel Ávalos Gaibor

Dedico a Dios forjador de mi camino el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo, a mis padres, hermanos e hija con mi más sincero amor y por su apoyo de toda índole brindado y lograron que esta meta se haga realidad, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica por la formación como profesional e inculcarme valores de ética y liderazgo.

Jorge Luis Velasteguí Escobar

CONTENIDO

RESUMEN ABSTRACT

CAPÍTULO	Pág.
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	3
1.3.1 <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2 <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3 <i>Justificación práctica</i>	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2 MARCO REFERENCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL	
2.1 Aceites vegetales de cocina, características, y propiedades químicas de los reactivos	5
2.1.1 <i>Aceites vegetales de cocina</i>	5
2.1.2 <i>Características del aceite vegetal de cocina</i>	5
2.1.3 <i>Aceite vegetal usado de cocina</i>	6
2.1.4 <i>Viscosidad</i>	6
2.1.5 <i>Poder calorífico en biocombustibles</i>	6
2.1.6 <i>Propiedades de los reactivos para la obtención del biodiésel</i>	7
2.1.6.1 <i>Sosa cáustica</i>	7
2.1.6.2 <i>Metanol</i>	7
2.1.7 <i>Contaminación ambiental producida por el aceite usado de cocina</i>	8
2.1.8 <i>Reciclado del aceite usado de cocina</i>	8
2.2 Métodos de obtención del biodiésel	9
2.2.1 <i>Tipos de obtención del biodiésel</i>	9
2.2.1.1 <i>Proceso de transesterificación</i>	10
2.2.2 <i>Utilidades y beneficios del biodiésel</i>	10

2.2.2.1	<i>Beneficios ecológicos del biodiésel</i>	11
2.2.2.2	<i>Beneficios económicos del biodiésel</i>	11
2.2.2.3	<i>Beneficios mecánicos del biodiésel</i>	11
2.3	<i>Agitadores.....</i>	11
2.3.1	<i>Agitadores de flujo radial.....</i>	12
2.3.2	<i>Homogeneización de un fluido</i>	13
2.4	<i>Impulsores.....</i>	13
2.4.1	<i>Impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco.....</i>	14
3	DISEÑO DE CONCEPTO DEL PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL	
3.1	Metodología para el diseño del prototipo para obtención de biodiésel	15
3.2	Estudios previos.....	16
3.3	Diseño conceptual del prototipo para obtención de biodiésel según la metodología propuesta por los autores	18
3.3.1	<i>Determinación de las especificaciones y requerimientos de la máquina...</i>	18
3.3.2	<i>Resultados de la matriz de calidad QFD.....</i>	21
3.3.3	<i>Especificaciones técnicas</i>	22
3.3.4	<i>Análisis funcional</i>	24
3.3.5	<i>Definición de módulos</i>	24
3.3.6	<i>Estudio de alternativas de solución para la máquina.</i>	25
3.3.7	<i>Alternativas de solución.....</i>	36
3.3.1.5	<i>Alternativas de solución para cada módulo</i>	37
3.3.8	<i>Evaluación de soluciones.....</i>	43
3.3.9	<i>Criterios de evaluación del módulo.....</i>	44
3.3.10	<i>Características de componentes del prototipo de obtención del biodiésel .</i>	49
4	DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL PROTOTIPO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL	
4.1	Dimensionamiento	52
4.1.1	<i>Dimensiones de los recipientes cilíndricos elipsoidales.....</i>	52
4.1.1.1	<i>Geometría de los recipientes</i>	53
4.1.1.2	<i>Cálculo del diseño del primer recipiente (metóxido).....</i>	53
4.1.1.2.1	<i>Altura del cilindro.....</i>	53
4.1.1.2.2	<i>Altura del fondo elipsoidal</i>	54

4.1.1.2.3	Volumen del cilindro.....	54
4.1.1.2.4	Volumen del fondo elipsoidal	55
4.1.1.2.5	Volumen total del primer recipiente (metóxido).....	55
4.1.1.2.6	Altura total del primer recipiente (metóxido).....	56
4.1.1.2.7	Presión de trabajo del primer recipiente (metóxido)	56
4.1.1.2.8	Espesor del cilindro	57
4.1.1.2.9	Espesor del fondo elipsoidal.....	58
4.1.1.2.10	Material de construcción del primer recipiente (metóxido).....	58
4.1.1.2.11	Temperatura del primer recipiente (metóxido)	59
4.1.1.2.12	Prueba hidráulica del primer recipiente (metóxido).....	59
4.1.1.3	Cálculo del diseño del segundo recipiente (aceite usado)	60
4.1.1.3.1	Altura del cilindro.....	60
4.1.1.3.2	Altura del fondo elipsoidal	60
4.1.1.3.3	Volumen del cilindro.....	61
4.1.1.3.4	Volumen del fondo elipsoidal	61
4.1.1.3.5	Volumen total del segundo recipiente (aceite usado).....	61
4.1.1.3.6	Altura total del segundo recipiente (aceite usado).....	61
4.1.1.3.7	Presión de trabajo del segundo recipiente (aceite usado)	62
4.1.1.3.8	Espesor del cilindro	62
4.1.1.3.9	Espesor del fondo elipsoidal.....	62
4.1.1.3.10	Material de construcción del segundo recipiente (aceite usado).....	63
4.1.1.3.11	Temperatura del segundo recipiente (aceite usado).....	63
4.1.1.3.12	Prueba hidráulica del segundo recipiente (aceite usado).....	63
4.1.1.4	Cálculo del diseño del tercer recipiente (metóxido + aceite usado).....	64
4.1.1.4.1	Altura del cilindro.....	64
4.1.1.4.2	Altura del fondo elipsoidal	64
4.1.1.4.3	Volumen del cilindro.....	65
4.1.1.4.4	Volumen del fondo elipsoidal	65
4.1.1.4.5	Volumen total del tercer recipiente (metóxido + aceite usado)	65
4.1.1.4.6	Altura total del tercer recipiente (metóxido + aceite usado)	65
4.1.1.4.7	Presión de trabajo del tercer recipiente (metóxido + aceite usado).....	66
4.1.1.4.8	Espesor del cilindro	66
4.1.1.4.9	Espesor del fondo elipsoidal.....	67

4.1.1.4.10	Material de construcción del tercer recipiente (metóxido+aceite usado) .	67
4.1.1.4.11	Temperatura del tercer recipiente (metóxido + aceite usado).....	68
4.1.1.4.12	Prueba hidráulica del tercer recipiente (metóxido + aceite usado)	68
4.1.2	Diseño y cálculos de un agitador de fluidos.....	71
4.1.2.1	Cálculo del diseño del agitador para el primer recipiente (metóxido).....	71
4.1.2.1.1	Distancia fondo a base del impulsor	72
4.1.2.1.2	Diámetro del impulsor	72
4.1.2.1.3	Largo de la paleta.....	73
4.1.2.1.4	Ancho de la paleta	73
4.1.2.1.5	Cálculo de potencia consumida.....	74
4.1.2.2	Cálculo del diseño del agitador del segundo recipiente (aceite usado).....	76
4.1.2.2.1	Distancia fondo a base del impulsor	77
4.1.2.2.2	Diámetro del impulsor	77
4.1.2.2.3	Largo de la paleta.....	77
4.1.2.2.4	Ancho de la paleta	77
4.1.2.2.5	Cálculo de potencia consumida.....	78
4.1.2.3	Cálculo del diseño del agitador para el tercer recipiente (metóxido + aceite usado).....	79
4.1.2.3.1	Distancia fondo a base del impulsor	80
4.1.2.3.2	Diámetro del impulsor	80
4.1.2.3.3	Largo de la paleta.....	81
4.1.2.3.4	Ancho de la paleta	81
4.1.2.3.5	Cálculo de potencia consumida.....	81
4.1.3	Diseño y cálculos del eje para los agitadores	83
4.1.3.1	Cálculo del diseño del eje para el tercer recipiente (metóxido + aceite limpio).....	83
5	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE PARA DEL PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL	
5.1	Máquinas y Herramientas	97
5.2	Materiales para la construcción	98
5.3	Proceso de construcción y montaje.....	100
5.3.1	Elementos de construcción	100
5.3.1.1	Operaciones de construcción para cada uno de los sistemas	101

5.3.2	<i>Montaje del prototipo para obtención de biodiésel.....</i>	106
5.3.2.1	<i>Flujo grama de proceso para el montaje del prototipo para obtención de biodiésel.....</i>	108
5.3.3	<i>Tiempo total de construcción.....</i>	109
5.4	<i>Proceso de construcción de los elementos del prototipo para obtención de biodiésel</i>	109
5.4.1	<i>Construcción de la estructura del prototipo para obtención de biodiésel.....</i>	109
5.4.2	<i>Construcción de los recipientes del prototipo para obtención de biodiésel.....</i>	111
5.4.3	<i>Construcción del sistema de agitación del prototipo para obtención de biodiésel.....</i>	113
5.4.4	<i>Construcción del sistema de evacuación del prototipo para obtención de biodiésel.....</i>	114
5.4.5	<i>Construcción del sistema de almacenamiento del prototipo para obtención de biodiésel.....</i>	115
6	ANÁLISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO DEL PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL	
6.1	<i>Análisis del punto de equilibrio del prototipo para obtención de biodiésel</i>	116
6.1.1	<i>Costos fijos</i>	116
6.1.2	<i>Costos variables</i>	118
6.1.3	<i>Ventas totales.....</i>	119
6.1.4	<i>Punto de equilibrio</i>	120
7	PRUEBAS Y RESULTADOS	
7.1	<i>Materiales y métodos</i>	122
7.2	<i>Resultado y discusión</i>	123
7.3	<i>Conclusiones.....</i>	124
7.4	<i>Recomendaciones</i>	125

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Propiedades hidróxido sódico	7
Tabla 2-2: Propiedades del metanol	8
Tabla 1-3: Voz del usuario	19
Tabla 2-3: Voz del ingeniero	20
Tabla 3-3: Matriz QFD (casa de la calidad)	21
Tabla 4-3: Especificaciones técnicas de la máquina para la obtención de biodiésel... 23	23
Tabla 5-3: Alternativa número uno.....	38
Tabla 6-3: Alternativa número dos	39
Tabla 7-3: Alternativa número tres.....	41
Tabla 8-3: Evaluación de cada criterio	45
Tabla 9-3: Evaluación de alternativas referente a los componentes.....	45
Tabla 10-3: Evaluación de alternativas referentes a reactivos.....	46
Tabla 11-3: Evaluación de las alternativas con respecto a los impulsores	46
Tabla 12-3: Evaluación de las alternativas con respecto al transporte	47
Tabla 13-3: Evaluación de soluciones al cumplimiento de la Norma ISO 21.630.....	47
Tabla 14-3: Evaluación de soluciones respecto al costo de fabricación.....	47
Tabla 15-3: Evaluación de soluciones respecto al volumen del aceite usado	48
Tabla 16-3: Evaluación de soluciones respecto a la capacidad del biodiésel obtenido. 48	48
Tabla 17-3: Conclusiones y selección de la mejor alternativa	48
Tabla 1-4: Diseño de tanques de almacenamiento	53
Tabla 2-4: Datos de entrada para diseñar un agitador de fluidos	71
Tabla 3-4: Datos de entrada para diseñar un agitador de fluidos	76
Tabla 4-4: Datos de entrada para diseñar un agitador de fluidos	79
Tabla 1-5: Lista de materiales seleccionados	99
Tabla 2-5: Elementos de construcción.....	101
Tabla 3-5: Operaciones de construcción del sistema estructural.....	102
Tabla 4-5: Sistema de dosificación.....	103
Tabla 5-5: Sistema de agitación.....	104
Tabla 6-5: Sistema de evacuación	105
Tabla 7-5: Sistema de almacenamiento	106

Tabla 8-5:	Montaje de elementos del sistema estructural.....	106
Tabla 9-5:	Montaje del sistema de dosificación	107
Tabla 10-5:	Montaje de elementos del sistema de agitación	107
Tabla 11-5:	Montaje de elementos del sistema de evacuación.....	107
Tabla 12-5:	Montaje de elementos del sistema de almacenamiento.....	108
Tabla 13-5:	Tiempos previstos para la construcción y montaje	109
Tabla 1-6:	Costos de mano de obra	116
Tabla 2-6:	Costos de material e insumos	117
Tabla 3-6:	Costos de maquinaria y equipos.....	118
Tabla 4-6:	Costos fijos totales	118
Tabla 5-6:	Costos de producción mensual para 48 lt biodiésel	119
Tabla 6-6:	Costos variables	119
Tabla 7-6:	Ventas totales	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Diagrama del proceso de fabricación del biodiésel	9
Figura 2-2: Reacción de transesterificación	10
Figura 3-2: Diseño del agitador mediante la Norma ISO 21.630	12
Figura 4-2: Homogeneización de dos fluidos.....	13
Figura 5-2: Turbina hojas planas inclinadas y disco	14
Figura 1-3: Metodología de diseño propuesta por los autores	17
Figura 2-3: Función principal de la máquina	24
Figura 3-3: Función secundaria de la máquina para la obtención de biodiésel.....	25
Figura 4-3: Estructura modular	26
Figura 5-3: Estructura del primer módulo	27
Figura 6-3: Micro motorreductor 100:1 de 12 V.....	27
Figura 7-3: Recipiente de agitación manual	28
Figura 8-3: Tanque con fondo cónico y esférico	29
Figura 9-3: Estructura del segundo módulo	31
Figura 10-3: Suspensión de un sólido en un líquido	32
Figura 11-3: Cristalización	33
Figura 12-3: Estructura del tercer módulo.....	34
Figura 13-3: Destilación	34
Figura 14-3: Filtración.....	35
Figura 15-3: Decantación	36
Figura 16-3: Alternativas para el diseño de la máquina de obtención biodiésel	37
Figura 17-3: Diseño de la alternativa uno – Vista frontal	38
Figura 18-3: Diseño de la alternativa uno – Vista lateral izquierda	39
Figura 19-3: Diseño de la alternativa dos – Vista frontal.....	40
Figura 20-3: Diseño de la alternativa dos – Vista lateral izquierda	41
Figura 21-3: Diseño de la alternativa tres – Vista frontal	42
Figura 22-3: Diseño de la alternativa tres – Vista lateral izquierda	43
Figura 23-3: Denominación de los componentes de la máquina.....	49
Figura 1-4: Diseño SAP2000 – Tercer recipiente	69
Figura 2-4: Diseño SAP2000 – Análisis de cargas hidrostáticas del tercer recipiente	69

Figura 3-4:	Diseño SAP-2000 – Análisis de presiones del tercer recipiente	70
Figura 4-4:	Diseño del agitador para el primer recipiente (metóxido)	74
Figura 5-4:	Número de potencia N_p frente a N_{Re} para turbina de 3 aspas	75
Figura 6-4:	Diseño del agitador para el segundo recipiente (aceite usado de cocina)	78
Figura 7-4:	Diseño del agitador para el tercer recipiente (metóxido + aceite limpio)	81
Figura 8-4:	Diseño SolidWorks – Análisis estático del agitador	83
Figura 9-4:	Dimensión del aspa	84
Figura 10-4:	Diagrama de esfuerzos	86
Figura 11-4:	Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín	89
Figura 12-4:	Factores de Tamaño	89
Figura 13-4:	Factores de confiabilidad del límite de resistencia a fatiga	90
Figura 14-4:	Efecto de temperatura en la resistencia a la tensión del acero	90
Figura 15-4:	Factores de carga	90
Figura 16-4:	Factores de efectos varios	90
Figura 17-4:	Asignación de cargas y restricciones en el software ANSYS	95
Figura 18-4:	Momento torsor en el software ANSYS	95
Figura 19-4:	Reacción debido al peso en el software ANSYS	96
Figura 1-5:	Diagrama de flujo de proceso	108
Figura 2-5:	Estructura soldada	109
Figura 3-5:	Soporte para manipulación de los reactivos por los operadores	110
Figura 4-5:	Instalación del piso antideslizante con remaches	110
Figura 5-5:	Base del motor	111
Figura 6-5:	Construcción de los recipientes	111
Figura 7-5:	Pulido de los recipientes	112
Figura 8-5:	Soporte para el embudo	112
Figura 9-5:	Motorreductor	113
Figura 10-5:	Eje soldado al agitador	113
Figura 11-5:	Automatización	114
Figura 12-5:	Instalación para la evacuación del fluido	114
Figura 13-5:	Purgas	115
Figura 14-5:	Instalación del ventilador para enfriamiento de la mezcla	115
Figura 1-6:	Punto de equilibrio	120

SIMBOLOGÍA

Q	Calor	Kcal/Kg
cc	Cilindrada del motor	cm ³
I	Corriente	Amp
PCS	Poder calorífico superior	KJ/Kg
PCI	Poder calorífico inferior	KJ/Kg
P	Potencia	Watt
P _i	Presión a la que ingresa la mezcla al motor	Pa
P _{MAX}	Potencia máxima entregados	Watt
P ₀	Potencia ambiente	Watt
Q	Calor específico	J/gr.°C
R _a	Constante del aire	N. m ² /C ²
T _i	Temperatura a la que ingresa la mezcla al motor	°C
T ₀	Temperatura ambiente	°C
V	Voltaje	Voltio
α	Velocidad de salida	rad/s
V	Volumen	mm ³
D _{Cilindro}	Diámetro del cilindro	mm
H _{Cilindro}	Altura del cilindro	mm
h _{Elipsoide}	Altura del fondo elipsoidal	mm
V _{Cilindro}	Volumen del cilindro	lt
V _{Elipsoide}	Volumen del fondo elipsoidal	lt
V _{Recipiente}	Volumen total del recipiente	lt
H _{Recipiente}	Altura total recipiente	m
P _{Recipiente}	Presión del recipiente	Kg/cm ²
P _{atmosférica}	Presión atmosférica	Pa
Z`	Altura de presión	m
g	Gravedad	m/s ²
γ	Peso específico	Kg/cm ³
σ _t	Tensión admisible para el Acero Inoxidable 304	Kg/cm ²

E_s	Eficiencia de soldadura según tipo de soldadura. para junta soldada a tope en doble V y no examinada	adimensional
t_{Cilindro}	Espesor del cilindro	mm
$t_{\text{Elipsoide}}$	Espesor del fondo elipsoidal	mm
$\sigma_{\text{Admisible}}$	Tensión admisible	Kg/cm ²
n	Coefficiente de seguridad	adimensional
$T_{\text{Recipiente}}$	Temperatura máxima del recipiente	°C
T_{trabajo}	Temperatura de trabajo del metóxido	°C
T_{ambiente}	Temperatura ambiente	°C
$P_{\text{Hidráulica}}$	Presión hidráulica del recipiente	Pa
$\rho_{\text{Metóxido}}$	Densidad del metóxido	Kg/m ³
$\rho_{\text{Aceite 40°C}}$	Densidad del aceite usado de cocina a 40 °C	Kg/m ³
ρ_{Mezcla}	Densidad de la mezcla	Kg/m ³
E	Distancia fondo a base del impulsor	mm
Da	Diámetro del impulsor	mm
Lp	Largo de la paleta	mm
W	Ancho de la paleta	mm
Re	Número de Reynolds	adimensional
$\mu_{\text{Metóxido}}$	Viscosidad dinámica del metóxido	Pa.s
$\nu_{\text{Metóxido}}$	Viscosidad cinemática del metóxido	m ² /s
N	Velocidad angular	rps
P	Potencia consumida del agitador	Watt
T	Torque del motor paso a paso	N.mm
W	Velocidad angular del motor paso a paso	rad/s
P	Potencia del motor paso a paso	Watt
P	Presión del fluido hacia el agitador	Pa
ρ	Densidad del fluido	Kg/m ³
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²
h	Altura de presión del fluido	m
L	Largo del aspa	m
l	Espesor del aspa	m

dA	Diferencial del área de contacto fluido y aspa	m ²
F	Fuerza	N
M	Momento aplicado en la base del agitador	N.mm
τ	Torsor máximo	MPa
T	Torque	N.mm
m	Momento flector	N.mm
σ	Esfuerzo máximo	MPa
τ_a	Torsor amplitud	MPa
$\tau_{m\acute{a}x}$	Torsor máximo	MPa
$\tau_{m\acute{i}n}$	Torsor mínimo	MPa
τ_m	Torsor medio	MPa
σ_a	Esfuerzo amplitud	MPa
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Esfuerzo máximo	MPa
$\sigma_{m\acute{i}n}$	Esfuerzo mínimo	MPa
σ_m	Esfuerzo medio	MPa
S_{ut}	Resistencia a la rotura del Acero AISI 304	MPa
S_y	Resistencia a la fluencia del Acero AISI 304	MPa
S_{se}'	Límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria	MPa
d	Diámetro del eje	mm
K_a	Factor de modificación de condición superficial	adimensional
K_b	Factor de modificación del tamaño	adimensional
K_c	Factor de modificación de la carga	adimensional
K_d	Factor de modificación de la temperatura	adimensional
K_e	Factor de confiabilidad	adimensional
K_g	Factor de modificación de efectos varios	adimensional
$\sigma_{eq.m}$	Esfuerzo equivalente medio	MPa
$\sigma_{eq.a}$	Esfuerzo equivalente amplitud	MPa
σ_{af}	Esfuerzo amplitud de flexión	MPa
τ_{aT}	Torsor amplitud de torsión	MPa

LISTA DE ABREVIACIONES

API	Instituto Americano del Petróleo
ASME	Quality American Society of Mechanical Engineers
AISI	American Iron and Steel Institute
QFD	Quality Function Deployment
ARC	Aceite Reciclado de Cocina
AVU	Producción de biodiésel a partir de aceite vegetal usado
B100	Bio-Diésel puro
B20	Mezcla de 20% Bio-Diésel y 80% Diésel Comercial
B0	Diésel Comercial
HMIS III	Hazardous Materials Identification System
EPP	Equipo de Protección Personal

LISTA DE ANEXOS

- A** Manual para la operación del prototipo de una máquina para obtención de biodiésel
- B** Manual de mantenimiento del prototipo de una máquina para obtención de biodiésel
- C** Normas de seguridad para manipulación de los reactivos
- D** Cuantificación volumétrica de los reactivos
- E** Extracción del biodiésel
- F** Muestra para ensayo del poder calorífico en el biodiésel
- G** Resultados del poder calorífico bruto

RESUMEN

En la rama de Ingeniería Mecánica se presenta con mucha frecuencia la necesidad de diseñar y construir máquinas que mejoren y ayuden a resolver problemas, como en este caso es la obtención de biodiésel a partir de aceite usado de cocina y así poder reducir la contaminación ambiental. Durante los últimos años se ha visto como un combustible alternativo el biodiésel. Uno de los métodos de obtención es mediante la transesterificación con catalizador, donde a partir de aceite usado de cocina en unión con metanol e hidróxido de sodio, se deriva en una reacción química que da como resultado biodiésel y glicerina. Se planteó una metodología integrada para hallar la mejor alternativa de solución, la cual consta de 4 etapas, en cada una de ellas con varias actividades donde se utilizó métodos para su solución las cuales son: Estudios previos, se realizó un estudio de campo, métodos de obtención de biodiésel. Diseño de concepto, determinación de requerimientos en base a la matriz QFD, Análisis funcional, selección de la mejor alternativa, estudio de componentes. Diseño de materialización, se utilizó fórmulas para el dimensionamiento de los principales componentes de la máquina y selección de los elementos. Diseño de detalle, se presenta los documentos necesarios para la fabricación como son planos de piezas, memorias de cálculo. En cada una de las muestras se varía la ecuación estequiométrica con la finalidad de mejorar el poder calorífico bruto del biodiésel. Finalmente, se adjunta un informe de resultados realizado en la Universidad Central del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Química en la ciudad de Quito, del poder calorífico bruto de dos muestras obtenidas en la máquina, cumpliendo satisfactoriamente la Norma NE 14214.

PALABRAS CLAVES: <BIODIÉSEL>, <PODER CALORÍFICO BRUTO (PCS)>, <TRANSESTERIFICACIÓN>, <SOSA CÁUSTICA (HIDRÓXIDO DE SODIO)>, <CATALIZADOR>.

ABSTRACT

In the field of Mechanical Engineering, the need to design and build machines that improve and help to solve problems is very often. As in this case it is the production of biodiesel from used cooking oil to reduce environmental pollution. During the last years biodiesel has been seen as an alternative fuel. One of the methods of obtaining by transesterification with catalyst, when used cooking oil in conjunction with methanol and sodium hydroxide, is derived in a chemical reaction which results in biodiesel and glycerin. An integrated methodology was proposed to find the best alternative solution, which consist of 4 stages, in each of them with several activities, where they were used methods for their solution, are: Previous studies, a field study, methods of obtaining biodiesel. Design of concept, determination of requirements based on QFD matrix, functional analysis, selection of the best alternative, study of components. Design of materialization, formulas were used for the sizing of the main components of the machine and the selection of the elements. The detailed design, presents the necessary documents for the manufacture, since they are parts blueprints, calculation memories. In each for the samples, the stoichiometric equation is varied to improve the gross calorific value of biodiesel. Finally, a report of the results obtained at Universidad Central del Ecuador at the Faculty of Chemical Engineering in Quito city is attached to the gross calorific value of two samples obtained in the machine, satisfactorily complying with the NE 14214 standard.

KEYWORDS: <BIODIESEL>, <CRUDE CALORIFIC POTENTIAL (PCS)>, <TRANSESTERIFICATION>, <CAUSTIC SODA (SODIUM HYDROXIDE)>, <CATALYST>.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Antecedentes

Durante los últimos años se ha visto como un combustible alternativo el biodiésel. El cual se obtiene de aceites, que pueden provenir de semillas, aceite usado de cocina, o aceites animales; si el aceite es reutilizado, debe pasar por un proceso de limpieza y filtrado, una vez que el aceite base está limpio, se somete al proceso principal conocido como transesterificación en el que se separan sus componentes, resultando en biodiésel y glicerina. (RENEWABLE, 2014)

La producción aproximada mundial de biodiésel en 2014 fue de 29,1 millones de toneladas. Estados Unidos sigue siendo el principal productor mundial de biodiésel con 4,53 millones de toneladas al año. Seguido por Indonesia, Brasil y la Unión Europea. Como mayores productores de biodiésel en la Unión Europea, tenemos a: España, Alemania, Francia, Italia y Holanda. Estos cinco países concentran el 70% de la capacidad de producción. (OIL WORLD STATICS, 2015)

Brasil, Argentina y Colombia son los países latinoamericanos que figuran entre los principales productores de bioetanol y biodiésel del mundo. Brasil es el segundo productor de bioetanol del mundo, con 33,2 % de participación en el mercado, detrás de Estados Unidos, responsable de 54,7 % de la producción mundial, Colombia, en tanto, figura en el décimo lugar de países productores, con 0,4 %. (CEPAL, 2011)

La producción de biodiésel en Ecuador es incipiente. La Fabril, es la única empresa que produce y exporta biodiésel en el país, bordeando los 16,6 millones de galones a EE.UU., Alemania y Perú, desde el 2005. (GONZÁLES, 2010)

El Patronato Municipal San José de la ciudad de Quito conjuntamente con la empresa Aceite Reciclado de Cocina recoge diariamente el aceite de cocina usado en todo el país. La empresa ARC paga al Patronato 10 centavos de dólar por cada litro de aceite obtenido. Así, el Patronato accede a un ingreso adicional para financiar sus obras sociales y la empresa ARC obtendrá el fluido para exportarlo a Holanda, en donde se transformará en biodiésel. Se estima que en el 2014 el Ecuador consumió 46,47 millones de kilos de aceite, de los cuales 7,26 millones corresponden a Quito, una ciudad de 2,5 millones de habitantes. Aproximadamente en la capital durante un año se consumen 2,9 kilos de aceite por persona. (UNIVERSO, 2015)

El aceite vegetal es considerado la principal causa de contaminación de las aguas urbanas, por el vertido al desagüe ya que afectan al sistema de alcantarillado de las ciudades; bloquea el flujo de agua, genera malos olores y plagas. Esto, combinado con la basura que llega al drenaje y las lluvias torrenciales, se traduce en inundaciones que se pueden evitar. El aceite de cocina, al ser más ligero que el agua, crea una capa superficial que evita su oxigenación. Un litro de aceite de cocina afecta a 1000 litros de agua. Por tal motivo mediante el proceso de transesterificación, resulta un camino por el cual se da un uso a este tipo de desecho, transformándolo en un combustible a usar en procesos de combustión. (SANTOYO, 2015)

Este tipo de biocombustible puede utilizarse ya sea en combustión con calderas que proveen calefacción a hogares, secaderos de la industria agroalimentaria o del subsector de productos minerales no metálicos, alimentación de generadores eléctricos, transporte en aeropuertos, navegación en lagos, en saunas, piscinas templadas, en cualquier motor de ciclo diésel teniendo gran apogeo en vehículos con este sistema de combustión. (NARANJO, 2007)

La generación de energía mediante el aprovechamiento de productos naturales o de residuos, es una de las industrias del futuro y se ha visto que este tipo de combustibles serán los más requeridos para el consumo de los vehículos modernos. Lo más importante es que los motores no requieren ninguna modificación. El biodiésel es 100% biodegradable en menos de 21 días y su toxicidad es inferior a la de la sal común de mesa. (MIELES, 2010)

1.2 Planteamiento del problema

La mayoría de aceites utilizados en la cocina para freír alimentos son vertidos en sumideros y alcantarillas contaminando aguas residuales; es decir, provocando contaminación ambiental. Esto se produce por malos hábitos que son parte de la cultura de nuestro país y al no disponer de una tecnología apta que resuelva este problema de contaminación que permita obtener biodiésel a partir de aceites usados de cocina.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica*

Este trabajo en conjunto constituido por el marco referencial, la metodología del diseño y la máquina en sí para la obtención del biodiésel a partir de aceite usado de cocina ya que se convierte en una guía para otros proyectos que se vean reflejados en menor cantidad de contaminación ambiental, desechado por los hogares de la ciudad de Riobamba.

1.3.2 *Justificación metodológica*

El presente proyecto propone una metodología de diseño y construcción de un sistema de producción de biodiésel a partir de aceite de cocina usado, además de la caracterización mediante datos estadísticos, pruebas de laboratorio, planos, análisis de costos y punto de equilibrio del proyecto.

1.3.3 *Justificación práctica*

Al concluir el trabajo de investigación se va a disponer de una máquina capaz de producir 5 litros de biocombustible, con la finalidad de utilizarse ya sea en combustión con calderas que proveen calefacción a hogares y hospitales, alimentación de generadores eléctricos, en saunas, piscinas temperadas, en cualquier motor de ciclo diésel teniendo gran apogeo en vehículos con este sistema de combustión.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar y construir un prototipo para 5 litros de biodiésel a partir de aceite vegetal usado de cocina, mediante el proceso de transesterificación, para disminuir la contaminación ambiental.

1.4.2 *Objetivos específicos*

Estudiar los principios básicos del diseño de sistemas de producción de biodiésel.

Aplicar la metodología del diseño de un sistema de producción de biodiésel a emplear en la investigación.

Evaluar costos y factibilidad del diseño y construcción del prototipo.

Caracterizar el poder calorífico del biodiésel obtenido para establecer su posible campo de aplicación.

CAPÍTULO II

2 MARCO REFERENCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

En la rama de Ingeniería Mecánica se presenta con mucha frecuencia la necesidad de diseñar y construir máquinas que mejoren y ayuden a resolver problemas como es en este caso la producción de biodiésel, en donde se implementara tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas, ni el derecho al agua.

2.1 Aceites vegetales de cocina, características, y propiedades químicas de los reactivos

2.1.1 *Aceites vegetales de cocina*

Los aceites vegetales están compuestos por lípidos, es decir, ácidos grasos de diferentes tipos. La proporción de estos ácidos grasos y sus diferentes características, son las que confieren las propiedades a los diferentes aceites vegetales existentes. El aceite vegetal como producto, es una sustancia que se ha obtenido a través de frutos con un alto contenido en dichos ácidos grasos, como el fruto del olivo, es decir, la oliva, el del cocotero o el de palma entre otros. También se extrae mediante semillas con las mismas características, estas se diferencian del resto de semillas de las cuales no se extrae aceite, al ser denominadas semillas oleaginosas. (BOTANICAL, 1999-2017)

2.1.2 *Características del aceite vegetal de cocina*

El estado habitual de los aceites vegetales es líquido, a temperatura ambiente, al contrario que sucede con las grasas de origen animal, que suelen ser sólidas a esta temperatura, esto se debe a que tienen mayor contenido de ácidos grasos saturados. También existen

productos obtenidos a partir de aceites vegetales que tienen un estado sólido. (BOTANICAL, 1999-2017)

2.1.3 *Aceite vegetal usado de cocina*

Entre las características Físico - Químicas del aceite vegetal usado de cocina, conforme a los datos facilitados por RAFRINOR, S.L., empresa perteneciente al Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia, un litro de aceite usado tiene la siguiente composición media: 85% de aceite, 15% es agua con restos de aceite y materia orgánica.

2.1.4 *Viscosidad*

La viscosidad es la propiedad que tiene un fluido a resistir un movimiento interno, y es una de las principales características técnicas de los combustibles líquidos que determina el método y duración de las operaciones de llenado y vaciado, las condiciones de transporte y bombeo, la resistencia hidráulica durante el transporte por tuberías y el trabajo efectivo de los quemadores. El aceite usado de cocina a 40 °C de temperatura tiene una viscosidad cinemática de 17,54 mm²/s. (NARANJO, 2007 pág. 8)

2.1.5 *Poder calorífico en biocombustibles*

Es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa. El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente. El poder calorífico en biocombustibles se establece. (CUEVAS, 2012)

Poder calorífico superior (PCS): Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase. El poder calorífico superior del diésel producido por Petroecuador es de 43,4 MJ/Kg, dato tomado en el año 2015. (CUEVAS, 2012)

Poder calorífico inferior (PCI): Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. El poder calorífico inferior del diésel producido por Petroecuador 43,4 MJ/Kg, dato tomado en el año 2015. (CUEVAS, 2012)

2.1.6 Propiedades de los reactivos para la obtención del biodiésel

2.1.6.1 Sosa cáustica

La sosa cáustica (NaOH), es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Es una sustancia manufacturada. Es un reactivo muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como solución de 50% de pureza. (NARANJO, 2007 pág. 21)

Tabla 1-2: Propiedades hidróxido sódico

PROPIEDADES FÍSICAS	
Estado de agitación	Sólido
Apariencia	Blanco
Masa molecular	40.0 uma
Punto de fusión	596 °K (322.85 °C)
Punto de ebullición	1663 °K (1389.85 °C)
Densidad	2100 Kg/m ³

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Fuente: (NARANJO, 2007 pág. 22)

2.1.6.2 Metanol

Es un líquido ligero, incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es CH₃OH. (NARANJO, 2007 pág. 22)

Tabla 2-2: Propiedades del metanol

PROPIEDADES FÍSICAS	
Estado de agitación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Masa molecular	32.04 uma
Punto de fusión	176 °K (-97.15 °C)
Punto de ebullición	337.8 °K (64.65 °C)
Densidad	791,8 Kg/m ³
Viscosidad	0.59 mPa.s a 20 °C
PROPIEDADES QUÍMICAS	
Acidez (pK _a)	-15.5
Solubilidad	Totalmente miscible

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Fuente: (NARANJO, 2007 pág. 23)

2.1.7 Contaminación ambiental producida por el aceite usado de cocina

Los aceites utilizados en la fritura de los alimentos se encuentran en instituciones, hotelería, etc. Durante su utilización sufren cambios o alteraciones, por lo que su poseedor debe desecharlos. Si se vierten por el fregadero o coladeras causan problemas en las redes de saneamiento por lo que la grasa al enfriarse se adhiere a las paredes del alcantarillado y actúa como un imán para otros residuos, formando un tapón que impide que el agua fluya libremente, ya que es capaz de crear una capa, que es difícil de eliminar, lo que dificulta el paso de oxígeno provocando la muerte de los seres vivos en ríos. (GONZÁLEZ, 2013 pág. 1)

2.1.8 Reciclado del aceite usado de cocina

Los aceites de cocina usados, recogidos selectivamente, pueden recibir tratamientos mediante los cuales se preparan para la producción de biocarburantes, jabones y otros usos en la industria química (ceras, barnices, otros), reduciendo así el uso de recursos procedentes de materias primas e impulsando la actividad económica y empleos más verdes. Según informaciones facilitadas por GEREGRAS, en España y Europa todo el aceite usado se emplea en la producción de biodiesel, donde un kilogramo de aceite

recogido se puede transformar en 0,92-0,97 kilogramos de biodiésel. (GONZÁLEZ, 2013 pág. 4)

2.2 Métodos de obtención del biodiésel

Para la fabricación de biodiésel es necesario considerar detenidamente las variables, conceptos, y los reactivos a utilizar. Para obtener los mejores resultados se tiene en cuenta el aceite vegetal, sosa cáustica, metanol. El proceso de obtención del biodiésel comprende varios pasos, en los cuales es esencial obtener valores de volumen, cantidades de masa, temperatura, para poder determinar la cantidad de reactivos a añadir y las condiciones en que se realizará la reacción. El diagrama de proceso de fabricación industrial del biodiésel muestra el proceso base sobre el cual se trabaja la fabricación del biocombustible, las diferencias que se pueden hallar con la Figura 1-2: (YORY, 2008 pág. 24)

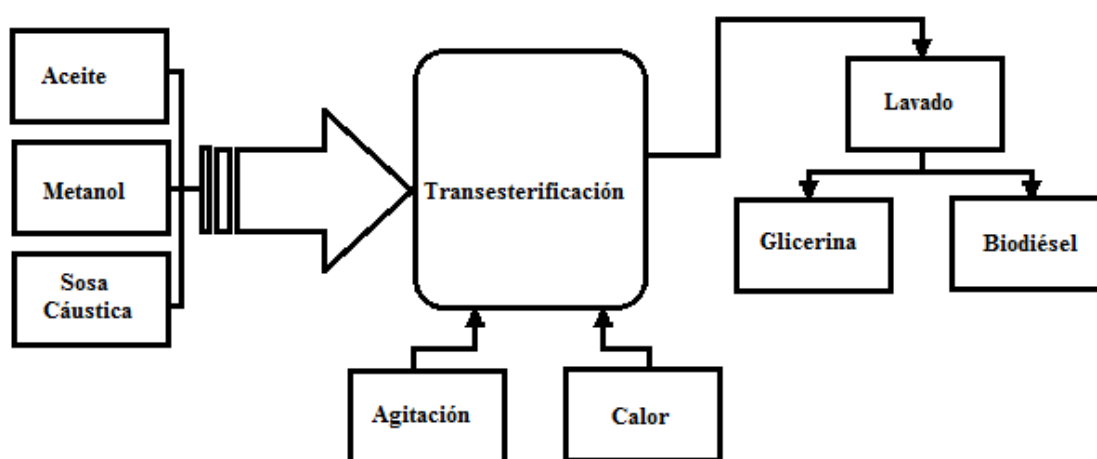


Figura 1-2: Diagrama del proceso de fabricación del biodiésel

Fuente: (YORY, 2008 pág. 30)

2.2.1 Tipos de obtención del biodiésel

Existen varios tipos de obtención de biodiésel, entre los cuales tenemos tres formas básicas de producir metil ésteres a partir de aceites y grasas. Transesterificación con catalizador básico de un aceite con metanol, esterificación con catalizador ácido de un aceite con metanol, y conversión del aceite en ácidos grasos. (ALVARADO, y otros, 2015 pág. 9)

2.2.1.1 Proceso de transesterificación

El biodiésel se obtiene mediante la reacción de transesterificación que consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, este proceso permite disminuir la viscosidad del aceite, la cual es principalmente ocasionada por la presencia de glicerina en la molécula. Para lograr la reacción se requieren temperaturas entre 40 y 60°C, así como la presencia de un catalizador, la cual será la sosa cáustica. (CASTELLS, y otros, 2012 pág. 847)

La transesterificación se produce combinando un 80 % de aceite vegetal, 20 % de metanol y 3,5 gramos de sosa cáustica. Estos elementos deben ser mezclados durante una hora y dejar reposar durante 8 horas. Luego que la reacción se haya completado y los nuevos productos hayan decantado se obtendrá biodiésel y glicerina. El combustible es de color ámbar y fluye como agua; la glicerina de color marrón, teniendo una consistencia gelatinosa queda en el fondo pudiendo ser retirado por bombeo o drenado. (NARANJO, 2007 pág. 56)

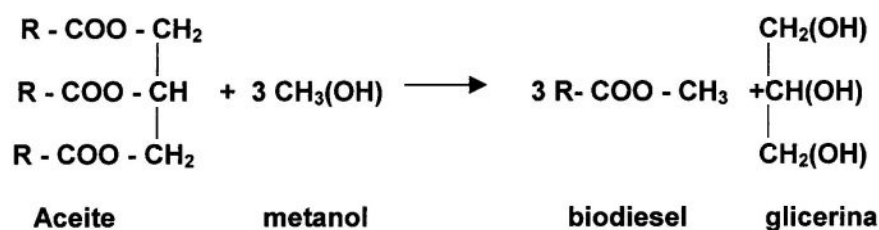


Figura 2-2: Reacción de transesterificación

Fuente: (CASTILLO, 2007 pág. 21)

2.2.2 Utilidades y beneficios del biodiésel

Este combustible alternativo puede utilizarse directamente en calderas, calefacción a hogares y hospitales, generadores eléctricos, saunas y piscinas temperadas. Hoy en día, dichos motores requieren un combustible que al ser sometido a distintas condiciones en las que opera, permanezca estable y por otra parte sea limpio al quemarlo. (FUEL NEXT, 2016)

2.2.2.1 Beneficios ecológicos del biodiésel

Proviene de un recurso renovable, es biodegradable, es menos contaminante que la gasolina, reduce partículas (smoke), está libre de sulfuro, benceno y aromatizantes potencialmente cancerígenos. (FUEL NEXT, 2016)

2.2.2.2 Beneficios económicos del biodiésel

La producción de biodiésel es alentada con importantes incentivos y exenciones fiscales a nivel nacional e internacional, el Protocolo de Kyoto financia la inversión otorgando “créditos de carbono” a quienes logren reducir las emisiones de CO₂. (FUEL NEXT, 2016)

2.2.2.3 Beneficios mecánicos del biodiésel

Incrementa la eficiencia y duplica la durabilidad del motor, mejorando su ignición y lubricidad, posee un importante poder lubricante, por lo que puede ser considerado un aditivo para mejorar la lubricidad. Además, la gasolina sin azufre pierde cualidades lubricantes y para suplir dicha falencia deben usarse aditivos. (FUEL NEXT, 2016)

2.3 Agitadores

Mediante la Norma ISO 21.630 para agitadores, estos se clasifican de la siguiente manera: Agitadores de flujo axial, agitadores de flujo radial, agitadores de paso cerrado.

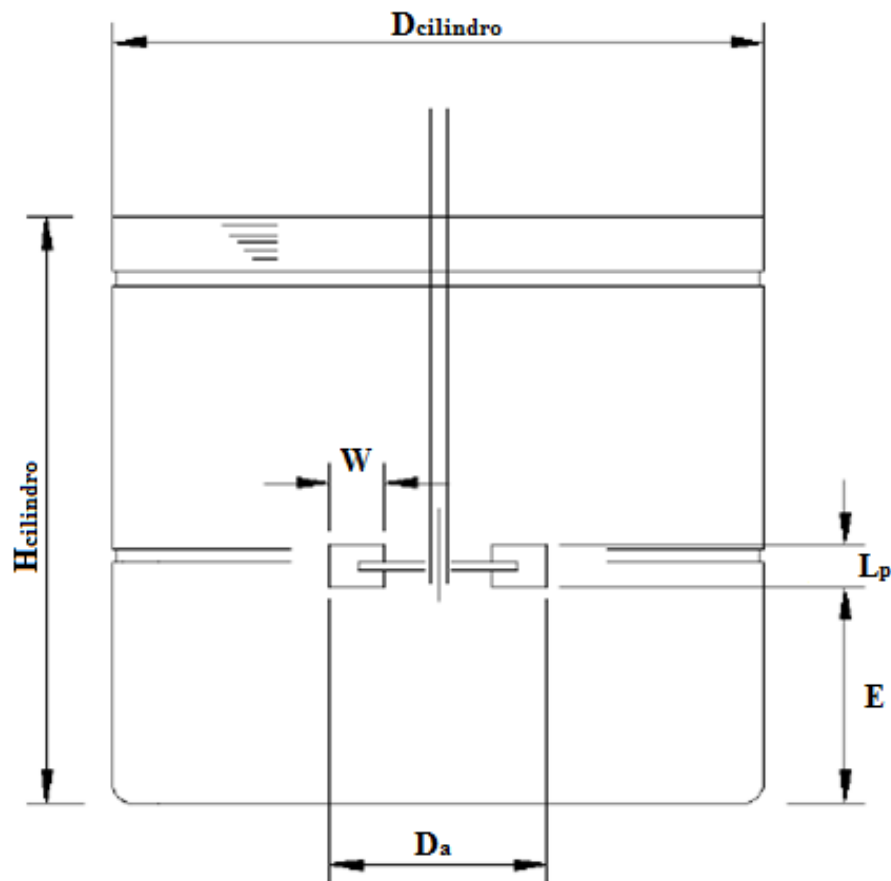


Figura 3-2: Diseño del agitador mediante la Norma ISO 21.630

Fuente: (CASTILLO, 2013)

2.3.1 *Agitadores de flujo radial*

Los más representativos son los agitadores de aspas planas. Éste tipo de agitadores incluyen aspas paralelas al eje del motor. Los más pequeños y de aspas múltiples se denominan “turbinas”; los mayores, de velocidades más bajas, con dos o cuatro aspas, se denominan agitadores de aspas. Generan un flujo radial para cualquier Reynolds y proporcionan alta velocidad tangencial aunque baja capacidad de impulsión. En la mayoría de los procesos industriales de mezclado se busca que la capacidad de impulsión sea lo mayor posible, mientras que la velocidad tangencial no constituye un factor de importancia y por lo tanto se prefiere evitar. Por esto, este tipo de agitador no es de uso común, siendo los más utilizados los que principalmente maximizan el flujo y minimizan la velocidad tangencial. (CASTILLO, 2013 pág. 6)

La agitación en los procesos productivos puede ser: Homogeneización de un fluido, suspensión de un sólido en un líquido, emulsión de dos fluidos insolubles, inyección de gas en un fluido, intercambio térmico entre un fluido y superficie de enfriamiento, fermentación, cristalización; hidrogenación.

2.3.2 Homogeneización de un fluido

Se define como la mezcla de fluidos solubles como se indica en la Figura 4-2, cuyos objetivos principales son lograr el equilibrio de gradiente de temperatura y de gradiente de concentración. Se utiliza entre otras cosas para la neutralización de ácidos/base, diluir disoluciones de alta concentración, mezcla de fluidos con temperaturas distintas y distribución de polímeros en suspensión para floculación. (CASTILLO, 2013 pág. 9)

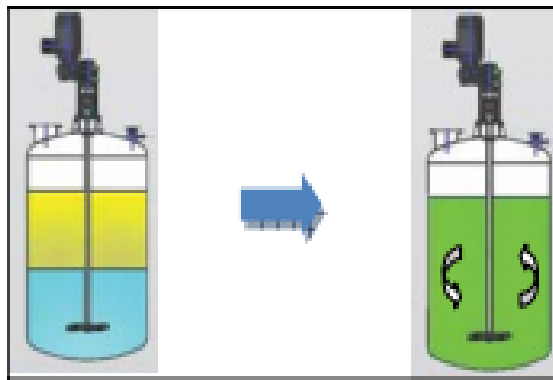


Figura 4-2: Homogeneización de dos fluidos

Fuente: (CASTILLO, 2013 pág. 9)

2.4 Impulsores

Los tres principales tipos de impulsores son de palas, turbinas y hélices, entre los cuales son: Impulsor de pala, de pala tipo ancla, de pala tipo paleta o rejilla, impulsor de hélice, impulsor de turbina tipo hojas planas, impulsor de turbina tipo hojas inclinadas, impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco.

2.4.1 *Impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco*

Este tipo de impulsor produce corrientes radiales y axiales, el líquido fluye según la dirección del movimiento de las palas del impulsor, de esta manera disminuye la velocidad relativa que existe entre las palas, se utiliza especialmente para homogeneizar y mejorar la transferencia de calor con las paredes o serpentines dispuestos en el interior del estanque, el disco que posee produce un efecto estabilizante. (CASTILLO, 2013 pág. 20)



Figura 5-2: Turbina hojas planas inclinadas y disco

Fuente: (CASTILLO, 2013 pág. 20)

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DE CONCEPTO DEL PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

El capítulo tiene por objetivo el desarrollo de la metodología general para efectuar el proceso del diseño de un prototipo para una máquina de obtención de biodiésel, llegar a proponer el concepto de la máquina referida, para ello en este capítulo se presenta la metodología del diseño, ver Figura 1-3. El prototipo de una máquina para obtención de biodiésel, logrado a partir del estudio del estado del arte del proceso del diseño y siguiendo la metodología que propone el diseño conceptual de un prototipo de una máquina para obtención de biodiésel.

3.1 Metodología para el diseño del prototipo para obtención de biodiésel

A partir de la revisión de la bibliografía sobre el diseño concurrente, (RIBA, 2002), en la Figura 1-3, se muestra la metodología que proponemos para el diseño de un prototipo de una máquina para obtención de biodiésel. La metodología propuesta consta de cuatro etapas a saber: estudios previos, diseño del concepto, diseño de detalle y diseño de materialización. Estas etapas son cíclicas e integradas. En cada etapa se desarrollan varias actividades siguiendo la lógica del proceso de diseño mecánico. Para cada actividad, en la medida de lo factible, se indican los métodos empleados para su ejecución.

En la etapa de estudios previos se debe hacer la revisión bibliográfica sobre el proceso de diseño, además es fundamental obtener información sobre el aceite usado de cocina, el biocombustible, cantidades de los reactivos tales como: alcohol metílico e hidróxido de sodio, dimensionamiento de los tanques y agitadores respectivos para cada uno de los procesos.

El diseño del concepto es esencial para continuar con la siguiente etapa. En esta, empleando diferentes métodos, como lista de requerimientos, mapa de objetivos o

despliegue de la función de calidad, se determinan los requerimientos técnicos, los cuales deben tener los criterios de clientes, proyectista y el estado de la competencia de productos similares en el mercado. Sobre esta información se realiza el análisis de las funciones y de la estructura morfológica para desarrollar estas funciones. Quedando así el concepto definido del producto.

En la etapa de diseño de detalle, con la ayuda del software SolidWorks, y Norma ISO 21.630 para agitadores, etc., se realizan los cálculos que garantizan la funcionabilidad y resistencia mecánica de los elementos de la máquina. Finalmente en la etapa de diseño de materialización se elaboran los procedimientos y métodos para la evaluación del diseño ya sea virtual o través de la construcción de prototipos físicos.

3.2 Estudios previos

A continuación se desarrolla todos los pasos de la etapa de estudios previos que establece la metodología del diseño de un prototipo de una máquina para obtención de biodiésel. Según la metodología expuesta en la Figura 1-3. A continuación se relacionan los aspectos esenciales de cada una de las actividades desarrolladas en esa etapa.

- *Estudio de campo*: Los resultados del estudio de caracterización de propiedades físicas del aceite usado de cocina para la ciudad de Riobamba.

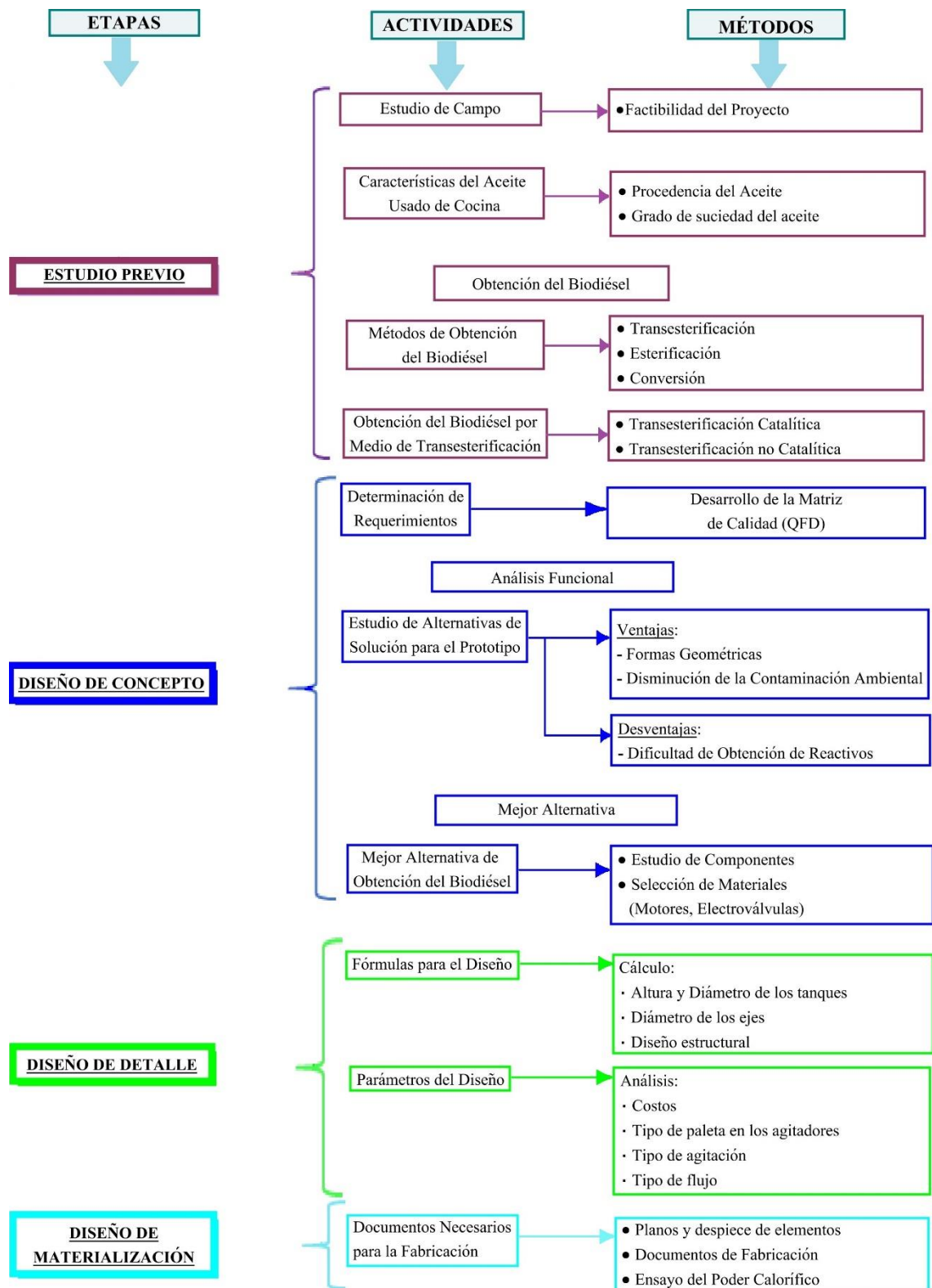


Figura 1-3: Metodología de diseño propuesta por los autores

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

-Métodos de obtención del biodiésel: La transesterificación con catalizador básico de un aceite con metanol, esterificación con catalizador ácido de un aceite con metanol y conversión del aceite en ácidos grasos.

Del cual se consideró el método por transesterificación con catalizador básico entre sus ventajas está la presión atmosférica y temperatura ambiente, posibilidad de utilizar materiales convencionales y de fácil adquisición, manipulación de reactivos, sin riesgo de operación.

-Herramientas para el diseño: La herramienta empleada para el diseño se consideró que el SolidWorks, es un software factible para ayudar en la tarea del diseño de la máquina objeto de estudio.

3.3 Diseño conceptual del prototipo para obtención de biodiésel según la metodología propuesta por los autores

En esta etapa se ejecuta la determinación de requisitos y especificaciones técnicas para el diseño, el análisis funcional y el análisis morfológico, acorde la Figura 1-3. Según se explica a continuación.

3.3.1 Determinación de las especificaciones y requerimientos de la máquina

Para especificaciones técnicas se utilizara el método desarrollo de la Función de Calidad QFD (Quality Function Deployment). El cual con especificaciones técnicas mediante el método de ingeniería concurrente denominado casa de la calidad donde se analiza y se trabaja en grupo tomando muy en cuenta los requerimientos del patrocinador o cliente (voz del usuario) y el análisis técnico (voz del ingeniero) para obtener como resultado una máquina que satisfaga las necesidades para la que fue diseñada, su vida útil y se obtenga un producto de mejor calidad con una planificación adecuada. (RIBA, 2004) (CHANGUÁN, 2016)

- *Voz del usuario.* La voz del usuario representa los requerimientos básicos y las características con las que debe contar la máquina de un prototipo para obtención de biodiésel. (RIBA, 2004 pág. 179)

En este caso el usuario es la persona responsable de la máquina en cuanto a operación y mantenimiento, sugiere construir el prototipo de acuerdo a normas, ya que el mismo estará expuesto a reactivos altamente corrosivos, por tanto la prioridad es la salud del operador. Para una obtención de calidad del producto se requiere un rango establecido de poder calorífico bruto de 30 MJ/Kg a 40 MJ/Kg, y así poder aplicar el biocombustible en motores diésel. Es necesario que el prototipo funcione con electricidad ya que el lugar donde se ubicará dispone de ese tipo de energía. Al ubicar los reactivos en la máquina es necesario tener fácil operación, dando comodidad al operador y así evitar derrames ya que los reactivos son altamente peligrosos. La máquina al estar en un espacio reducido debe tener facilidad de mantenimiento. Al manejar reactivos que adquieren incremento de temperatura por el proceso de transesterificación es necesario tener una fácil dosificación, así también en la extracción del producto para que evitar la unión de partículas de glicerina en el biodiésel. Para disminuir tiempos de operación debe ser automatizado el proceso para poder obtener el biodiésel. Al ser una máquina didáctica enfocada a estudiantes universitarios el usuario recomienda que la máquina sea ligera en peso, para facilitar su transporte.

Tabla 1-3: Voz del usuario

VOZ DEL USUARIO
<ul style="list-style-type: none"> • Fabrique de acuerdo a las Normas. • Mayor poder calorífico. • Funcione con electricidad. • Fácil operación. • Fácil mantenimiento. • Fácil dosificación y extracción del producto. • Automatización. • Máquina ligera en peso.

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

- *Voz del ingeniero.* En esta sección se convierte las necesidades del usuario a características técnicas. (RIBA, 2004 pág. 180)

Tabla 2-3: Voz del ingeniero

VOZ DEL INGENIERO
<ul style="list-style-type: none">• Tolerancia• Consumo de energía.• Confort, ergonomía.• Intercambiabilidad de elementos.• Dimensiones del equipo.• Velocidad de proceso.• Volumen de dosificación.• Materiales del equipo.

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Para obtener los resultados de esta matriz se basó en el libro de Diseño Concurrente del autor (RIBA, 2004 pág. 183) para realizar la evaluación de nuestro prototipo para obtención de biodiésel.

La competencia 1, corresponde a un prototipo de producción de biodiésel denominado R500, diseñado y construido por Oscar Martínez Aguirre en la ciudad de México en el año 2013. La máquina se alimenta con una fuente de energía de 220 V. Utilizando materiales de acero al carbono y plástico para la estructura y el reactor respectivamente. Utiliza aceite usado o cualquier tipo de aceite vegetal. Produce 40 litros de biodiésel diarios, consta de un reactor principal en el cual por medio de una bomba hace recircular la mezcla del aceite residual y el metóxido provocando la transesterificación catalítica. Luego de la transesterificación el operador debe desactivar la bomba de recirculación y encender la bomba de evacuación, dicho proceso permite obtener un biodiésel sin partículas de glicerina.

COMPROMISOS

⊙.	Muy Positiva
○	Positiva
×	Negativa
✱	Muy negativa

Factor de Venta	
Fuerte=1,5	●
Posible=1,2	●
Ningún=1	

Fuente: (RIBA, 2004 pág. 183)

- **Flujo del biodiésel:** la máquina debe ser capaz como mínimo obtener 5 litros de biodiésel si se obtiene una capacidad mayor el diseño será óptimo.
- **Peso:** el peso tiene que ser moderado y en lo posible la facilidad de transporte sin sufrir daño alguno.
- **Operación:** el objetivo de la máquina es reducir el número de personas en los diferentes procesos para la obtención de biodiésel, por tal motivo se utiliza la automatización.

3.3.3 Especificaciones técnicas

Luego de analizar la matriz QFD se presenta a continuación la tabla con las especificaciones técnicas que tendrá la máquina para la obtención de biodiésel realizada a parte de los anteriores y otros criterios técnicos.

Tabla 4-3: Especificaciones técnicas de la máquina para la obtención de biodiésel

Diseñadores: Guido Ávalos Jorge Velasteguí	Denominación: Máquina para la obtención de biodiésel para una capacidad de 5 litros	Fecha inicial: 28-10-2016		
		Última revisión: 25-10-2017		
		Hoja N:1		
Características:				
Denominación	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		D	R	Obtención de biodiésel para una capacidad de 5 litros.
Energía		C	R	Energía eléctrica 110 V.
Materiales		C	R	Acero Inoxidable 304.
Vida útil		D	D	Vida útil 90%
Mantenimiento		D	R	Mantenimiento de forma fácil y segura
Dimensiones		C	D	Altura máxima de 1.7 m
Seguridad y ergonomía		C	R	El nivel de ruido no debe exceder un máximo de 60DB.
Construcción y montaje		D	R	Obtención del biodiésel por transesterificación.
Propone: R/D: D= Deseo, MR= Modificación de requerimiento, C= Cliente, M= Marketing, R= Requerimiento, D= Diseño, P= Producción, F= Fabricación.				

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

3.3.4 *Análisis funcional*

La función principal de la máquina es obtener biodiésel a partir de aceite usado de cocina utilizando el método de transesterificación. A continuación se presenta una figura con las variantes que grafican la función principal de la máquina.

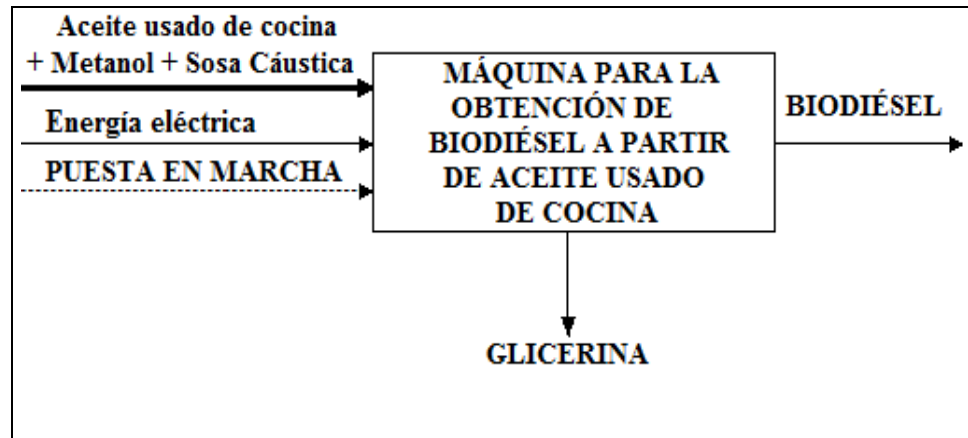


Figura 2-3: Función principal de la máquina

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Para un primer nivel las variables que ingresa son:

- Aceite usado de cocina + metanol + sosa cáustica.
- Fuente de energía 110 V.
- Señal de puesta en marcha.

Las variables que salen son:

- Biodiésel.
- Glicerina.

3.3.5 *Definición de módulos*

Realizar la estructura modular facilita el mantenimiento del producto, ayuda a la reducción de costos, tiempo. Para ello se divide en varios bloques funcionales. Como la máquina presenta un proceso simple para la obtención del biodiésel se utiliza un solo módulo. (CHANGUÁN, 2016)

En la Figura 3-3, se muestra el módulo de la máquina con el fin de sintetizar el proyecto, las cuales trabajan sincronizadas por cada elemento que conforma la máquina para la obtención del biodiésel, esto facilita visualizar cada proceso y las señales que tendrá a la entrada y salida de la máquina. (CHANGUÁN, 2016)

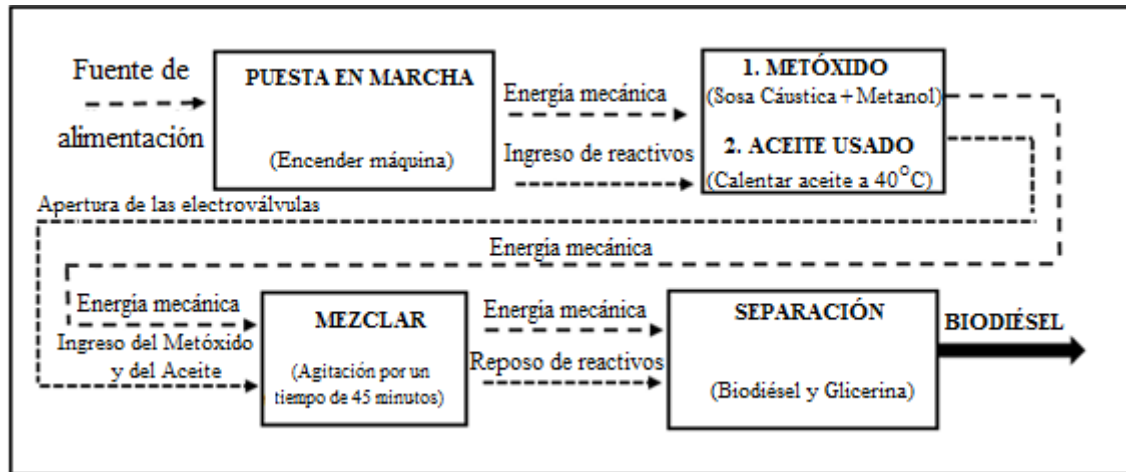


Figura 3-3: Función secundaria de la máquina para la obtención de biodiésel

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

3.3.6 Estudio de alternativas de solución para la máquina.

En la figura anterior nos muestra la estructura modular de la máquina para la obtención de biodiésel que tiene como función principal obtener biodiésel mediante el método de transesterificación para una capacidad de 5 litros, en el cual se analiza cada uno de los sistemas que requieren ser seleccionados y diseñados para esto se plantea alternativas y se elige la mejor que se adapte a nuestra necesidad.

Las etapas del funcionamiento de la máquina que requieren de un diseño son:

- Puesta en marcha.
- Metóxido (agitación por un tiempo de 20 minutos).
- Aceite usado (calentar aceite a 40°C).
- Mezclar (agitación por un tiempo de 60 minutos).
- Separación (biodiésel y glicerina).

La elaboración de la estructura funcional es el primer paso para establecer la estructura modular, la mayor parte de diseñadores realizan estos procesos sin formalizarlos, a partir de combinar las diversas funciones en módulos. (RIBA, 2002 pág. 128)

En la Figura 4-3, se muestra la estructura modular de la máquina con sus respectivos módulos, con el fin de sintetizar el proyecto, con sus respectivos procesos y funciones, las cuales trabajan sincronizadas por cada elemento que conforma la máquina para la obtención del biodiésel, esto facilita visualizar cada proceso y las señales que tendrá a la entrada y salida de la máquina.

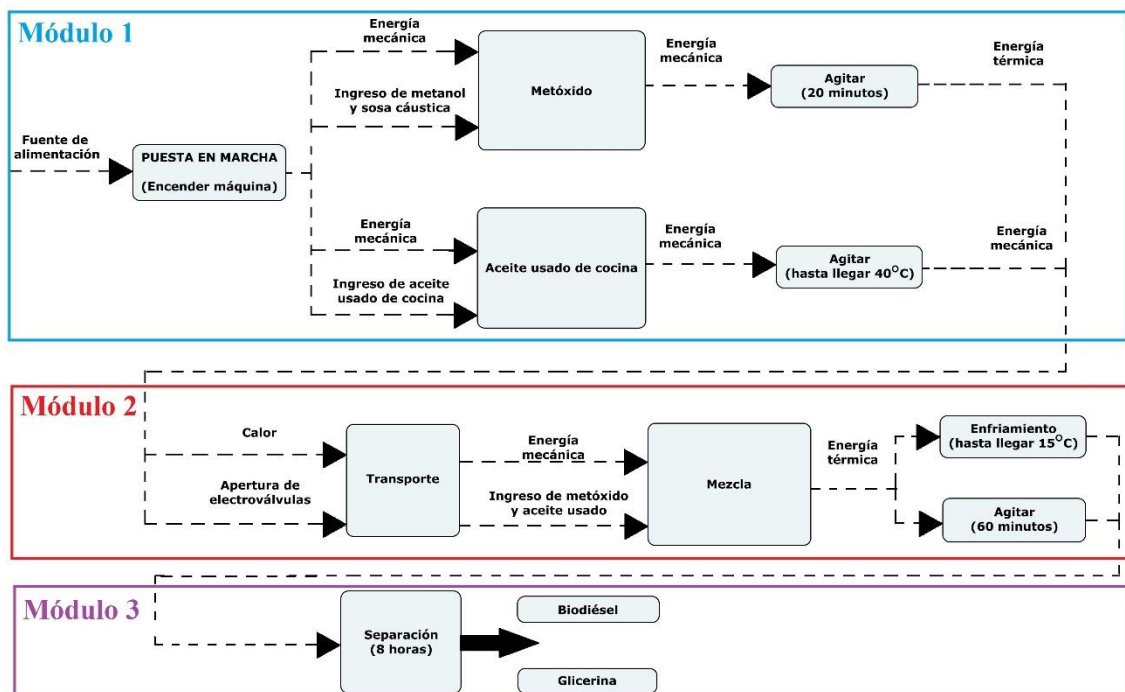


Figura 4-3: Estructura modular

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

- ✓ *Módulo 1:* Se muestra las sub-funciones del arranque de la máquina, en la cual por medio de una fuente de alimentación se enciende la máquina, ingresando el metanol y sosa cáustica agitando los reactivos por 20 minutos como primera etapa de mezcla para formar el metóxido, de igual manera en una segunda etapa agitando el aceite hasta llegar una temperatura de 40°C.

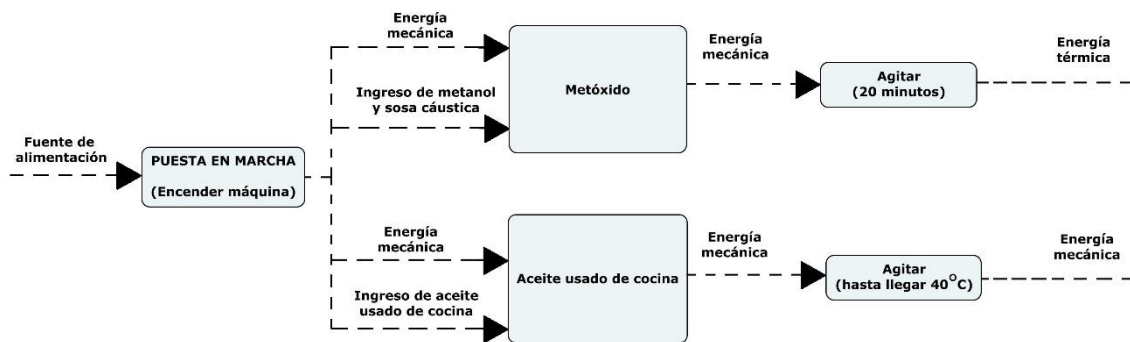


Figura 5-3: Estructura del primer módulo

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

A continuación se presentan alternativas de solución al módulo 1, con sus respectivas características de puesta en marcha.

➤ Automático

Es el inicio de funcionamiento de la máquina, se refiere al encendido del tablero electrónico, mediante el botón de inicio (botón verde), el cual activa al micro motorreductor donde genera una velocidad y fuerza para que pueda agitar los reactivos.

- *Generación de fuerza mecánica.* Del análisis de las fuentes energéticas la mejor variante se considera la de un micro motorreductor para la agitación de torque necesario para mover los reactivos así también de un regulador de voltaje que permita la reducción de la velocidad para garantizar las revoluciones de trabajo requeridas. En la Figura 6-3 se observa un sistema de micro motor reductor y acoplado a un prisionero adaptado al eje que permite transmitir el movimiento.



Figura 6-3: Micro motorreductor 100:1 de 12 V.

Fuente: (ELECTROSTORE, 2017)

Ventajas:

- Permite generar la fuerza y velocidad necesaria para el proceso de obtención de biodiésel, en cada una de las etapas.
- Se puede controlar la velocidad necesaria con un regulador de voltaje.
- Fácil montaje.
- Sistema de bajo costo económico.

Desventajas:

- Desgaste de los elementos con el tiempo de uso.
- La abrazadera debe ser tipo C, para que la carga alrededor del acople sea distribuida.

➤ Manual

El funcionamiento de la máquina se realiza mediante un recipiente de agitación manual, que consta de una manivela soldada al agitador para que pueda mezclar los reactivos.



Figura 7-3: Recipiente de agitación manual

Fuente: (INOXIMEXICO, 2014)

Ventajas:

- Disminución del desgaste de los elementos con el tiempo de uso.
- Fácil montaje.
- Sistema de bajo costo económico.
- La manivela utiliza un mecanismo acoplado a una chumacera para facilitar el giro.

Desventajas:

- Mayor tiempo de agitación en los fluidos.

- No se puede controlar la velocidad necesaria ya que el operador no tiene velocidad constante en su agitación.

De igual manera para el metóxido y aceite usado de cocina, se presenta alternativas de diseño de los recipientes de almacenamiento, las cuales permitirán la agitación de los reactivos antes mencionados. Una vez que el operador ponga en marcha el equipo, es necesario el diseño de los recipientes de almacenamiento para el metóxido y el aceite usado respectivamente. Los tanques de almacenamiento de materias primas y productos de la planta se diseñan tomando como referencia el Código ASME, para el diseño de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos (líquidos o sólidos) en su interior. Existen dos maneras para cumplir con este sistema: (ASME, 2007)

- Tanque con fondo cónico.
- Tanque con fondo elipsoidal.

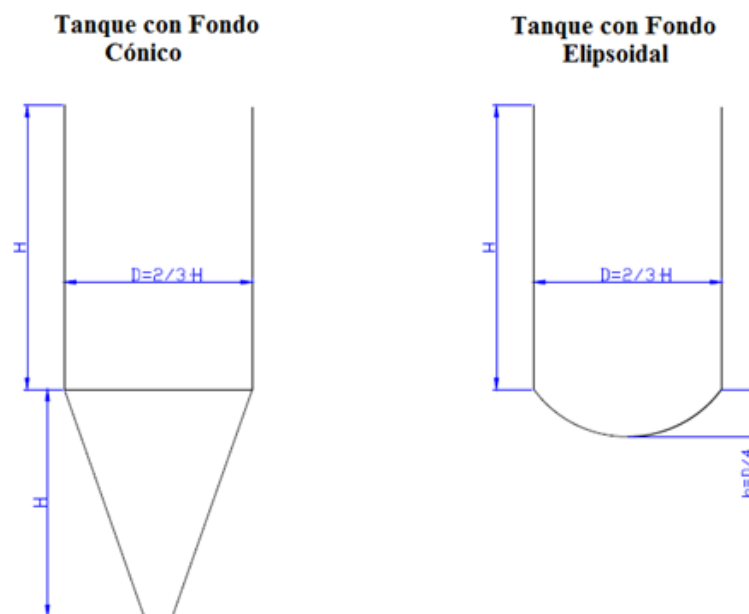


Figura 8-3: Tanque con fondo cónico y esférico

Fuente: (ASME, 2007)

- *Tanque con fondo cónico:* Es un recipiente formado por una carcasa cilíndrica y un fondo cónico, unidos mediante soldadura. Teniendo la altura de la carcasa igual a la altura del fondo cónico. (ASME, 2007)

Ventajas:

- Se utiliza para almacenamiento de sólidos.
- Se facilita un mejor mantenimiento al momento de purgar el fluido retenido en los recipientes.
- Se puede verter los sólidos con una mayor facilidad.
- Permite acumular gran cantidad de producto.
- Su construcción es simple y sencilla.

Desventajas:

- Por la forma cónica que tiene existen elevadas pérdidas en el fondo del recipiente.
- Tiene mayor complejidad al momento de construir este tipo de fondo cónico, respecto al fondo elipsoidal.

- *Tanque con fondo elipsoidal:* Es un recipiente formado por una carcasa cilíndrica y un fondo elipsoidal, unidos mediante soldadura. Teniendo la altura del fondo elipsoidal la cuarta parte del diámetro del recipiente, donde puede disminuir en el caso que se requiera menos pérdidas del fluido presentes en el fondo del recipiente. (ASME, 2007)

Ventajas:

- Permite evacuar casi todo el fluido en los respectivos recipientes, ya que en el fondo se acumula los residuos sólidos presentes en las reacciones químicas.
- Se facilita un mejor mantenimiento al momento de purgar el fluido retenido en los recipientes.
- Se puede verter tanto los reactivos como el aceite con una mayor facilidad.
- Permite acumular gran cantidad de producto.
- Su construcción es simple y sencilla.

Desventajas:

- En el fondo se acumula los residuos sólidos presentes en las reacciones químicas

- *Conclusión del módulo 1:* En el análisis realizado se puede observar que la alternativa que cumple con la condición de puesta en marcha es de forma automática, ya que se

necesita reducir personal, disminuir tiempos de operación y mantener una velocidad de agitación constante en los fluidos. Como se va a trabajar con fluidos se debe construir tanques de fondo elipsoidal tomando como referencia los cálculos de diseño del Código ASME, para recipientes de almacenamiento de fluidos.

- ✓ *Módulo 2:* Se muestra las sub-funciones del transporte del metóxido y el aceite de cocina para formar la mezcla en un tiempo de agitación de 60 minutos, paralelamente exista un enfriamiento en este transcurso de tiempo y llegue a 15°C.



Figura 9-3: Estructura del segundo módulo

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Para el módulo 2, se analiza el transporte de un fluido por un conducto, el cual puede hacerse a presión o sin presión.

➤ Transporte de un fluido a presión

Se trata de conducciones por las que se realiza el trasvase de un líquido entre dos puntos, sea por gravedad o por impulsión (conducción forzada), en las que se asume que toda la sección del conducto es ocupada por el líquido.

➤ Transporte de un fluido sin presión

Es común en sistemas de evacuación de aguas residuales o en el transporte de agua por canales, sistemas de regadío, etc. Este apartado se centra en el primer caso, el cual es necesario utilizar bombas para vencer un determinado desnivel piezométrico.

En el módulo 2, al ingresar el metóxido con el aceite residual se agitará para la formación previa del biodiésel y glicerina, para esto tomamos en consideración maneras de mezclar un fluido.

➤ Homogenización de un fluido

Se define como la mezcla de fluidos solubles como se muestra en la Figura 3-2, mezcla fluidos con temperaturas distintas y distribución de polímeros en suspensión para floculación.

Ventajas:

- Se obtiene equilibrio de gradiente de temperatura y de concentración.
- Se utiliza para la neutralización de ácidos.
- Diluye soluciones de alta concentración.

Desventajas:

- No disuelve sólidos en líquidos.
- Dependiendo de las condiciones del fluido, vuelve a su estado original previo a la mezcla.

➤ Suspensión de un sólido en un líquido

Consiste en la distribución de un sólido disperso en un fluido (Figura 10-3). La capacidad de suspensión de un agitador varía en función de la densidad y viscosidad del fluido y de la densidad, concentración y tamaño de las partículas del sólido.

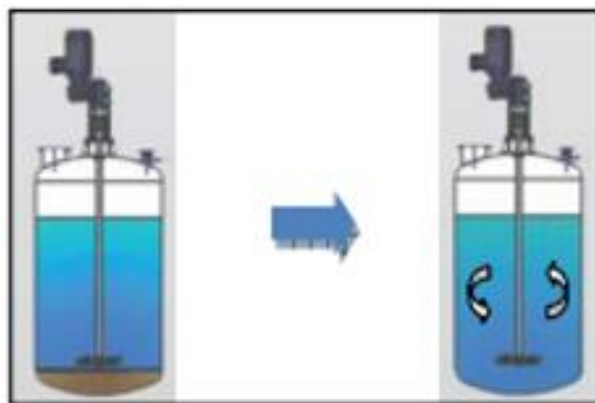


Figura 10-3: Suspensión de un sólido en un líquido

Fuente: (CASTILLO, 2013 pág. 9)

Ventajas:

- Mantiene sólidos en suspensión.
- Disuelve sólidos y se consigue una distribución homogénea.

Desventajas:

- No diluye soluciones de alta concentración.

➤ **Cristalización**

Se emplea con el fin de purificar una sustancia sólida como se muestra en la Figura 11-3, se recomienda una agitación suficientemente suave para no romper los cristales.

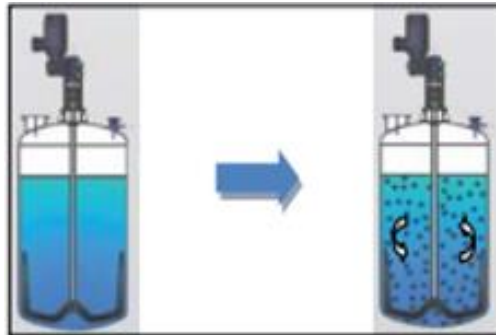


Figura 11-3: Cristalización

Fuente: (CASTILLO, 2013 pág. 9)

Ventajas:

- Se emplea con el fin de purificar una sustancia sólida.

Desventajas:

- La agitación debe ser suficientemente energética para diluir los cristales.

- *Conclusión del módulo 2:* En el análisis realizado se puede observar que la alternativa para el transporte de fluidos, se debe hacer a presión, además si se tiene presión hidrostática en cada uno de los fluidos evitamos así utilizar una bomba. Para la mezcla se escoge como mejor alternativa la homogenización de un fluido por lo que ayuda a equilibrar las mezclas del metóxido y aceite residual de cocina.

- ✓ *Módulo 3:* Se muestra las sub-funciones de la separación de la mezcla estando en reposo durante un tiempo de 8 horas y así obtener la glicerina y biodiésel.



Figura 12-3: Estructura del tercer módulo

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

➤ Destilación

Es el proceso de separar las distintas sustancias que componen una mezcla líquida mediante vaporización y condensación selectivas. Dichas sustancias, que pueden ser componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados.



Figura 13-3: Destilación

Fuente: (UNIVERSO, 2015 pág. 8)

Ventajas:

- Es buena para mezclas de componentes que no tengan los puntos de ebullición muy elevados.
- Se separan aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de ellas
- No varía en función de la masa o el volumen, aunque sí en función de la presión.

Desventajas:

- Ciertas mezclas no se pueden calentar porque sufrirían un proceso de descomposición.
- Es necesario una fuente externa de calor para provocar la separación de fluidos

➤ Filtración

Se entiende por filtración a aquel proceso mediante el cual un elemento es colocado a través de un tipo de tamiz o filtro por el cual se separan sus partes, quedando retenidas aquellas partes que no pasan por su tamaño y siendo filtradas aquellas que sí pasan por el espacio del filtro.



Figura 14-3: Filtración

Fuente: (UNIVERSO, 2015 pág. 8)

Ventajas:

- Es un método de separación físico simple, ya que por medio de la gravedad.
- La filtración es entendida como un proceso mecánico que no necesita ser estimulado artificialmente mediante el uso de químicos u otro tipo de productos.
- Eliminación de diversos tamaños de partículas.

Desventajas:

- Capacidad de retención de suciedad elevada.
- Cambio continuo de filtros.

➤ Decantación

Se utiliza para separar mezclas heterogéneas, que pueden estar conformadas por una sustancia líquida y una sólida, o por dos sustancias líquidas. Significa sedimentar,

colocarse una de las sustancias en la base de la otra, por efecto de sus distintas densidades, lo que permite separarlas.

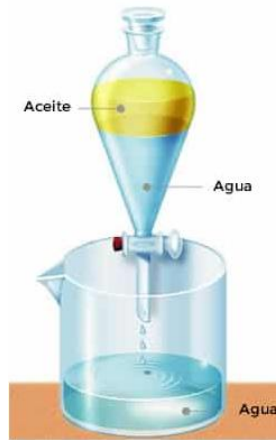


Figura 15-3: Decantación

Fuente: (GONZÁLEZ, 2013 pág. 14)

Ventajas:

- Es su rapidez en la separación de mezclas.

Desventajas:

- El recipiente debe ser herméticamente cerrado.
- No se puede usar para separar una mezcla de líquido y sólidos livianos. Ya que estas partículas tardan mucho en decantar.

- *Conclusión del módulo 3:* En el análisis realizado se puede observar que la alternativa para la separación la más óptima es por decantación, por lo que se realiza de manera sencilla y rápida la separación del biodiésel y glicerina al ser fluidos con densidades diferentes.

3.3.7 Alternativas de solución

Las alternativas mostradas anteriormente se combinan entre sí cada una de las soluciones verificando que los componentes sean compatibles obteniendo soluciones viables. El resultado de estas combinaciones muestra 3 alternativas de solución partiendo de tres métodos de obtención de biodiésel.

Las alternativas encontradas, se toma en consideración los requerimientos del usuario los cuales son representadas en la casa de la calidad. Se debe tomar muy en cuenta que sean compatibles a las soluciones para cada alternativa dada en la Figura 16-3.

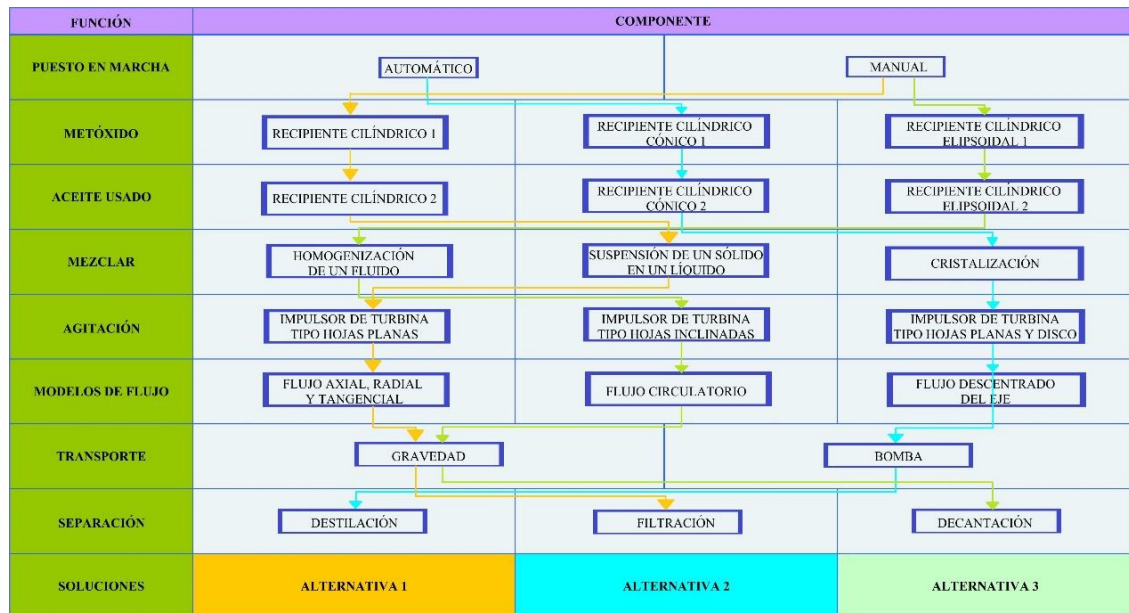


Figura 16-3: Alternativas para el diseño de la máquina de obtención biodiésel

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

De las opciones mostradas se selecciona la mejor, utilizando el método ordinal corregido de criterios ponderados propuestos por el autor Carles Riba.

3.3.1.5 Alternativas de solución para cada módulo

Los conceptos que se proponen a continuación están basados en la necesidad de la obtención de biodiésel para una capacidad de 5 litros, y son propuestas por los autores.

Tabla 5-3: Alternativa número uno

Operación	Alternativa
PUESTA EN MARCHA	Manual
METÓXIDO	Recipiente cilíndrico 1
ACEITE USADO	Recipiente cilíndrico 2
MEZCLAR	Suspensión de un sólido en un líquido
AGITACIÓN	Impulsor de turbina tipo hoja plana
MODELOS DE FLUJO	Flujo axial, radial y tangencial
TRANSPORTE	Gravedad
SEPARACIÓN	Filtración

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Con este método cuantificamos las cantidades de los reactivos, en dónde el metóxido se ubica por el operador hasta el recipiente cilíndrico 1; de igual manera el aceite usado de cocina se ubica por el operador hasta el recipiente cilíndrico 2, de tal manera poder obtener un biodiésel de mayor calidad. Mezclamos mediante la suspensión de un sólido en un líquido y agitamos a través de un impulsor de turbina tipo hojas planas; provocando un flujo axial, radial y tangencial en los fluidos. Luego de este proceso el fluido se evacúa por gravedad controlados por válvulas de globo con acción manual. La separación biodiésel y glicerina se efectúa por medio de filtración.

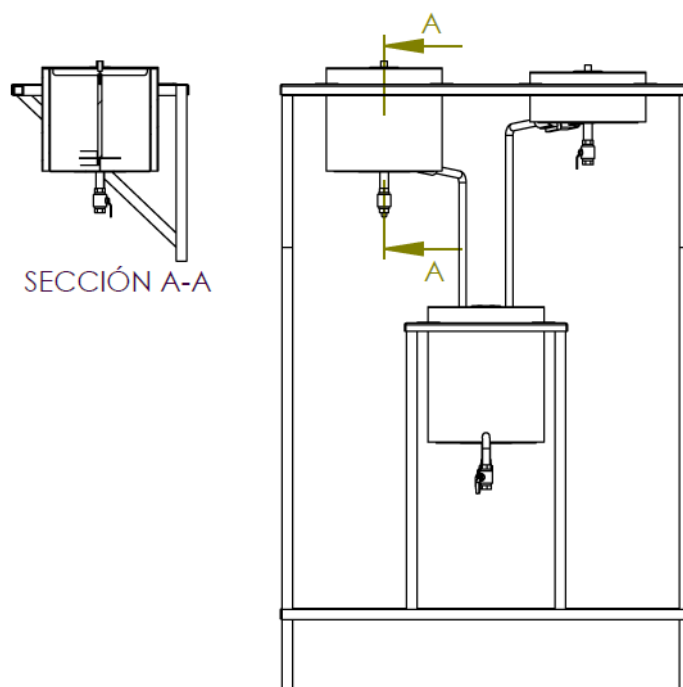


Figura 17-3: Diseño de la alternativa uno – Vista frontal

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

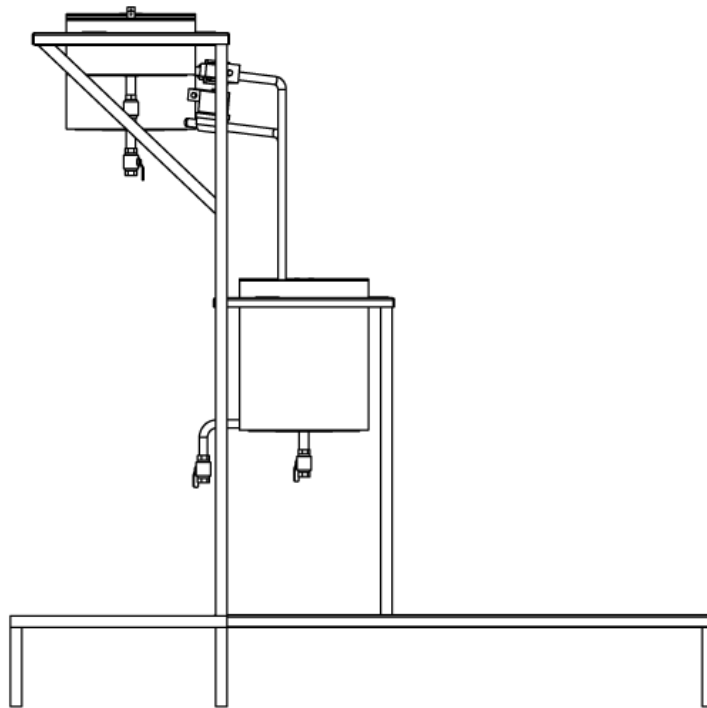


Figura 18-3: Diseño de la alternativa uno – Vista lateral izquierda

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Desventajas:

- Al utilizar un recipiente cilíndrico se acumula en el fondo partículas sólidas que pueden afectar elementos electrónicos instalados a continuación.
- Para impulsores de turbina tipo hojas planas se recomienda usar para fluidos cuya viscosidad alcanza hasta los 0,11 Pa.s. Teniendo dificultad con el aceite que tiene una viscosidad dinámica de 0,239 Pa.s.

Tabla 6-3: Alternativa número dos

Operación	Alternativa
PUESTA EN MARCHA	Automático
METÓXIDO	Recipiente cilíndrico cónico 1
ACEITE USADO	Recipiente cilíndrico cónico 2
MEZCLAR	Cristalización
AGITACIÓN	Impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas
MODELOS DE FLUJO	Flujo descentrado del eje
TRANSPORTE	Bomba
SEPARACIÓN	Destilación

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Con este método las cantidades de los reactivos se dosifican automáticamente, en dónde el metóxido se ubica en el recipiente cilíndrico cónico 1; de igual manera el aceite usado de cocina se ubica en el recipiente cilíndrico cónico 2, de tal manera poder obtener un biodiésel de mayor calidad. Mezclamos mediante cristalización y agitamos a través de un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas; provocando un flujo descentrado en el eje. Luego de este proceso el fluido evacúa por medio de una bomba que ayuda a evacuar en un menor tiempo. La separación de biodiésel y glicerina se efectúa por medio de destilación.

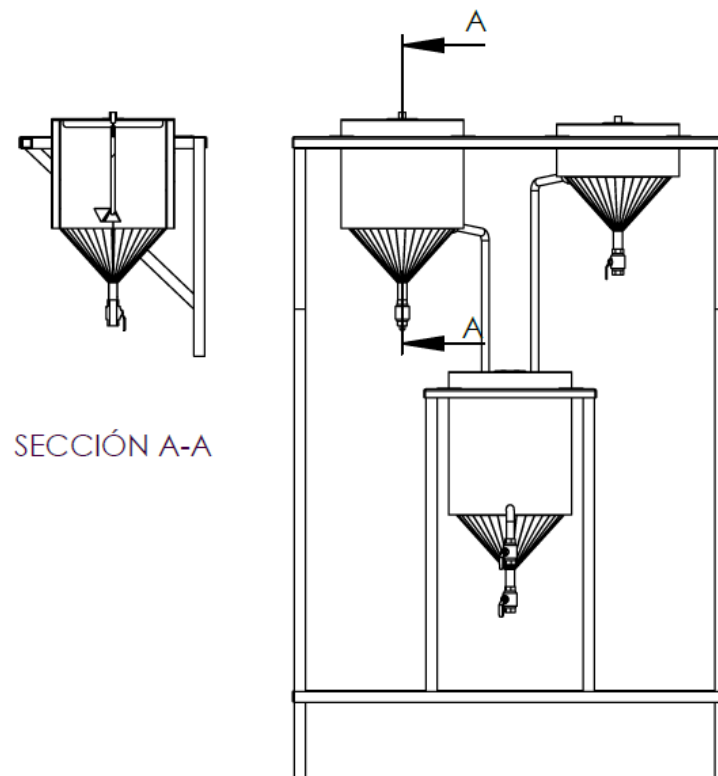


Figura 19-3: Diseño de la alternativa dos – Vista frontal

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

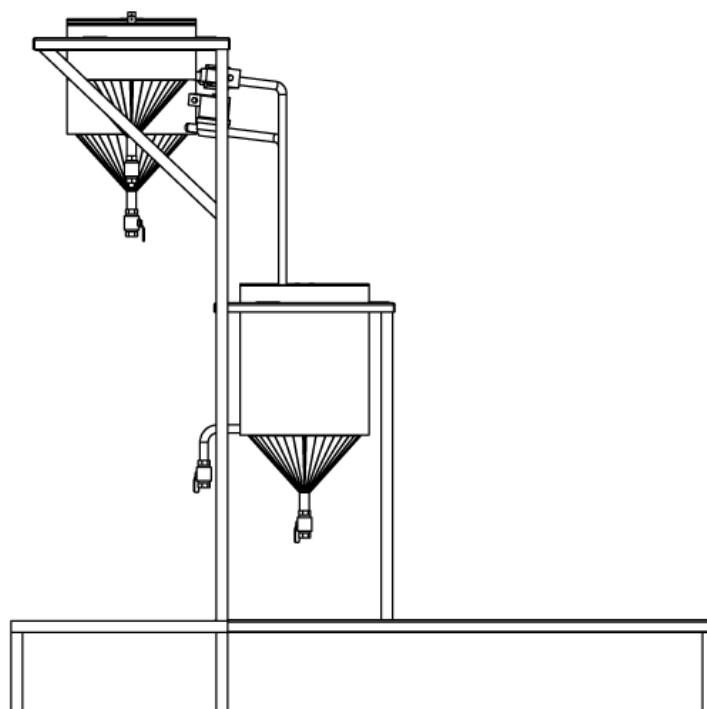


Figura 20-3: Diseño de la alternativa dos – Vista lateral izquierda

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Desventajas:

- Al utilizar un recipiente cilíndrico cónico se acumula en el fondo la mayor parte de los reactivos en el que pueden afectar en la reacción química al obtener el metóxido. Se recomienda el uso de este diseño de recipiente para uso exclusivo de sólidos.
- El costo por automatizar la dosificación de los reactivos, incrementa de manera considerada el precio de la máquina.

Tabla 7-3: Alternativa número tres

Operación	Alternativa
PUESTA EN MARCHA	Manual
METÓXIDO	Recipiente cilíndrico elipsoidal 1
ACEITE USADO	Recipiente cilíndrico elipsoidal 2
MEZCLAR	Homogenización de un fluido
AGITACIÓN	Impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco
MODELOS DE FLUJO	Flujo circulatorio
TRANSPORTE	Gravedad
SEPARACIÓN	Decantación

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Con este método cuantificamos las cantidades de los reactivos, en dónde el metóxido se ubica por el operador hasta el recipiente cilíndrico elipsoidal 1; de igual manera el aceite usado de cocina se ubica por el operador hasta el recipiente cilíndrico elipsoidal 2, de tal manera poder obtener un biodiésel de mayor calidad. Mezclamos mediante la homogenización de un fluido y agitamos a través de un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco; provocando un flujo circulatorio en los fluidos. Luego de este proceso el fluido se evacúa por gravedad, controlados por electroválvulas con acción automática. La separación biodiésel y glicerina se efectúa por medio de decantación.

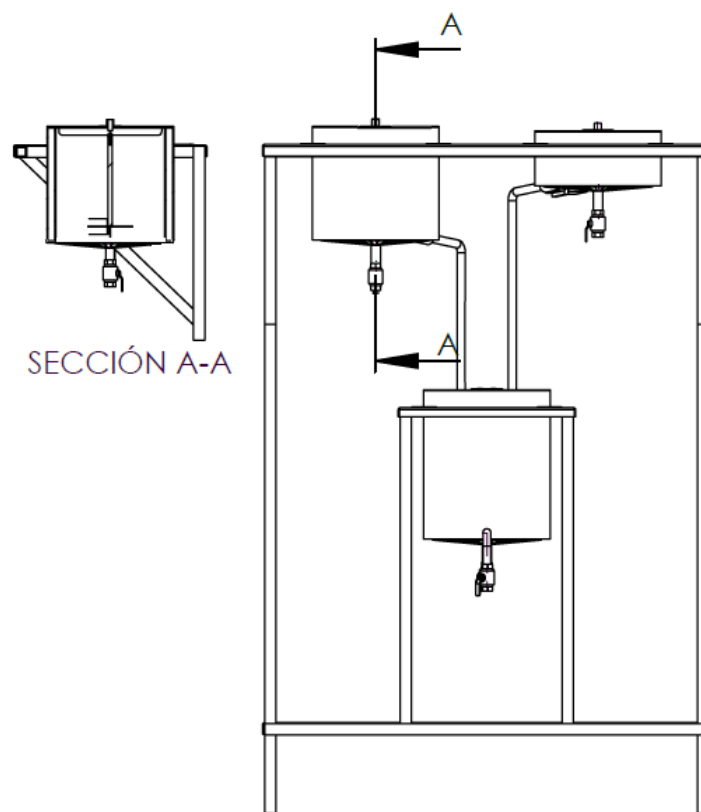


Figura 21-3: Diseño de la alternativa tres – Vista frontal

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

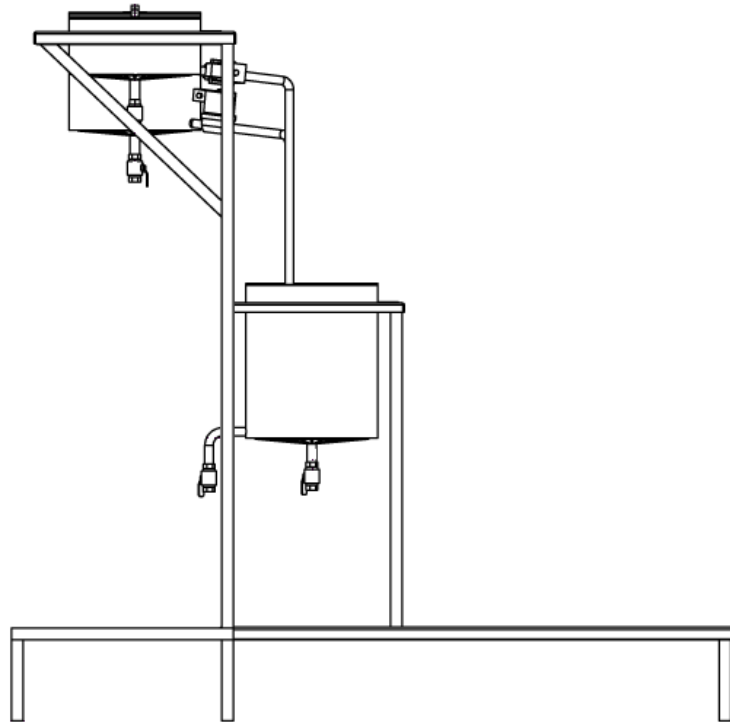


Figura 22-3: Diseño de la alternativa tres – Vista lateral izquierda

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Desventajas:

- Se pudiera usar una bomba que ayude al fluido llegar hacia el tercer tanque de manera rápida, y así reducir el tiempo de operación.

3.3.8 Evaluación de soluciones

Después de cada despliegue de alternativas, corresponde hacer una evaluación de las mismas, que sirva de base para la posterior toma de decisiones. (RIBA, 2002 pp. 59-60) (REVELO, 2017)

Para tomar una decisión deben estar presentes los siguientes elementos:

- *Alternativas.* Como mínimo se dispone de dos alternativas lo más adecuado es entre 3 y 6 cuyas características deben ser diferentes. (RIBA, 2002 pp. 59-60) (REVELO, 2017)

- *Criterios.* Se establece los criterios en base a los cuales las alternativas son evaluadas. Dado que todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos, se consideran

de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de ponderación de criterios. (RIBA, 2002 pp. 59-60) (REVELO, 2017)

- *Método ordinal corregido de criterios ponderados.* Se recomienda este método sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos. Está basado en tablas donde cada criterio se enfrenta con los restantes criterios y asigna los siguientes valores (RIBA, 2002 pp. 59-60) (REVELO, 2017)

Dónde: 1 muestra, la solución es superior o mejor que el de las columnas; 0,5 muestra, la solución es igual o equivalente al de las columnas; 0 muestra, la solución es inferior o peor que el de las columnas. (RIBA, 2002 pp. 59-60) (REVELO, 2017)

Mediante estos valores se evalúa cada criterio obtenido de la matriz QFD y cuáles de los criterios influyen más en la máquina. (CHANGUÁN, 2016)

3.3.9 Criterios de evaluación del módulo

Para la valoración se toma en cuenta los aspectos y parámetros más determinantes que permiten obtener los siguientes criterios de valoración:

- *Precio.* Consideraciones de precios competentes en el mercado.
- *Recipientes según el volumen.* Según la capacidad en litros que requieran en el mercado.
- *Capacidad.* Capaz de obtener 5 litros de biodiésel.

En la siguiente tabla se realiza la evaluación de los pesos específicos de cada uno de los criterios anteriores.

Tabla 8-3: Evaluación de cada criterio

Norma ISO 21.630 > Capacidad > Volumen = Precio						
Criterio	Norma ISO 21.630	Precio	Volumen	Capacidad	$\sum +1$	Ponderación
Norma ISO 21.630		0,5	0	0	1,5	0,15
Precio	0,5		0	0	1,5	0,15
Volumen	1	1		0	3	0,3
Capacidad	1	1	1		4	0,4
Sumatoria					10	1

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

A continuación se realiza la evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio.

En la siguiente Tabla 9-3, podemos observar los mecanismos y las soluciones planteadas para el diseño de la máquina sin embargo para lograr una selección del concepto más óptimo se hace una comparación entre los mecanismos principales de la máquina.

Tabla 9-3: Evaluación de alternativas referente a los componentes

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Puesta en marcha	Manual	Automático	Manual
Metóxido	Recipiente cilíndrico 1	Recipiente cilíndrico cónico 1	Recipiente cilíndrico elipsoidal 1
Aceite usado	Recipiente cilíndrico 2	Recipiente cilíndrico cónico 2	Recipiente cilíndrico elipsoidal 2
Mezclar	Suspensión de un sólido en un líquido	Cristalización	Homogenización de un fluido
Agitación	Impulsor de turbina tipo hoja plana	Impulsor de turbina tipo hojas inclinadas	Impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco
Modelos de flujo	Flujo axial, radial y tangencial	Flujo descentrado del eje	Flujo circulatorio
Transporte	Gravedad	Bomba	Gravedad
Separación	Filtración	Destilación	Decantación

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 10-3: Evaluación de alternativas referentes a reactivos

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Recipiente cilíndrico	Se utiliza menor cantidad de material en su construcción.	Se acumula en el fondo partículas sólidas.
Recipiente cilíndrico cónico	Puede almacenar sólidos y líquidos.	Se acumula en el fondo la mayor parte de los reactivos.
Recipiente cilíndrico elipsoidal	Fácil construcción.	No se puede trabajar con sólidos.

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 11-3: Evaluación de las alternativas con respecto a los impulsores

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Impulsor de turbina tipo hojas planas	Su diseño es versátil y simple.	Se utiliza para fluidos cuya viscosidad alcanza hasta 0,11 Pa.s.
Impulsor de turbina tipo hojas inclinadas	Combina flujo radial y axial y se utiliza para homogenizar y mejorar la transferencia de calor con las paredes o serpentines dispuestos en el interior del recipiente.	Por la configuración de las paletas al ser inclinadas producen en el fluido un régimen turbulento.
Impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco	Produce corrientes radiales y axiales.	Su régimen es turbulento ya que el mezclado es imperfecto a bajas velocidades.

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 12-3: Evaluación de las alternativas con respecto al transporte

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Bomba	Ayuda al fluido a llegar de manera rápida, y así reducir tiempo de operación. Se recomienda utilizar en tramos largos de tubería.	Costo del equipo e implementación.
Gravedad	Utiliza la presión de la columna del fluido estático.	En tramos de gran distancia no conviene utilizar este método de transporte, por la caída de presión en la tubería.

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 13-3: Evaluación de soluciones al cumplimiento de la Norma ISO 21.630

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					
Norma ISO 21.630	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,333
Sumatoria				6	1

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 14-3: Evaluación de soluciones respecto al costo de fabricación

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					
Costo de Fabricación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		1	3	0,5
Alternativa 3	1	0		2	0,333
Sumatoria				6	1

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 15-3: Evaluación de soluciones respecto al volumen del aceite usado

Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					
Volumen del aceite usado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,273
Alternativa 2	0		0	1	0,182
Alternativa 3	1	1		3	0,545
Sumatoria				5,5	1

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 16-3: Evaluación de soluciones respecto a la capacidad del biodiésel obtenido

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					
Capacidad del biodiésel obtenido	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,333
sumatoria				6	1

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

A continuación se presenta en la Tabla 16-3, los resultados obtenidos luego de realizar la evaluación y posterior a la sumatoria de cada una de las soluciones que se ejecutaron. Se observa también la solución más efectiva que se ajusta a los requerimientos técnicos y del usuario.

Tabla 17-3: Conclusiones y selección de la mejor alternativa

Alternativa	Norma ISO 21.630	Costo de fabricación	Volumen del aceite usado	Capacidad del biodiésel obtenido	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,04995	0,02505	0,0819	0,1332	0,2901	3
Alternativa 2	0,04995	0,075	0,0546	0,1332	0,31275	2
Alternativa 3	0,04995	0,04995	0,1635	0,1332	0,3966	1

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

- **Conclusión:** En el análisis realizado se puede observar que la alternativa que cumple con el mayor criterio de evaluación es la opción 3 por lo tanto optamos por esta solución; la máquina está compuesta por un sistema de dosificación manual; en dónde el metóxido se ubica por el operador hasta el recipiente cilíndrico elipsoidal 1; de igual manera el aceite usado de cocina se ubica por el operador hasta el recipiente cilíndrico elipsoidal 2,

de tal manera poder obtener un biodiésel de mayor calidad. Mezclamos mediante la homogenización de un fluido y agitamos a través de un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco; provocando un flujo circulatorio en los fluidos. Luego de este proceso el fluido evacúa por gravedad controlados por electroválvulas con acción automática. La separación biodiésel y glicerina se efectúa por medio de decantación.

3.3.10 Características de componentes del prototipo de obtención del biodiésel

Con el programa SolidWorks, se indica los componentes principales del prototipo de obtención del biodiésel a partir de aceite usado de cocina, para el diseño los requerimientos son traducidos a criterios técnicos los componentes que tiene la máquina y su funcionamiento para lo cual se describe a continuación. (CHANGUÁN, 2016)

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Plancha Acero Inoxidable AISI 304 (e=2 mm; 1220x2440mm)
4	Tubos cuadrados Galvanizados (1/1/2"x1/1/2"x2mm) 6m de longitud
1	Motor paso a paso 12 V unipolar 2 fases Tipo S330300
2	Micro motor reductor metálico 100:1 HPCB 12v (Pololu 3041)
4	Ferrulados 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
1	Plancha antideslizante Aluminio (e=1,5 mm; 1220x2440mm)
2	Electroválvulas solenoide 3/4" uso general 110 VAC
12	Tornillos Galvanizados 5/16"
9	Tornillos auto perforantes Galvanizados 5/16"
2	Acoples para motor reductor 100:1
1	Ventilador de CASE ANERA 80 mm
1	Niquelinas (resistencia térmica)
3	Prisioneros 5/16" Acero Inoxidable AISI 304
1	Transformador de 220 V a 120 V EVL en dos sentidos
2	Arduino UNO
1	Regulador de voltaje 12V VDC
1	Regulador de voltaje 5V VDC
1	Módulo sensor de temperatura MAX 6675
1	Caja y botonera electrónica Beaucoup metálica
1	Breaker EBASEE 110V
2	Módulos de relés para Arduino PIC
3	Ejes Sólido 3/8" Acero Inoxidable AISI 304

Figura 23-3: Denominación de los componentes de la máquina

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Micro motorreductor. Transforma la energía eléctrica en energía mecánica provocando movimiento radial, en donde este método de reducción de velocidad de un motor eléctrico es usado para el giro de las aspas, posee alto torque y bajo consumo energético.

Motor paso a paso. Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. Este método de reducción de velocidad de un motor eléctrico es usado para el giro de las aspas, la característica principal de estos motores es dar un movimiento de un paso a la vez por cada pulso que se le aplique; este paso puede variar de 90° hasta pequeños movimientos de 1,8°.

Ventilador. Una gran prestación de flujo de aire, la cual ayuda a disminuir la temperatura de lo que ingreso al tercer recipiente de la mezcla del metóxido + aceite.

Eje del agitador. Transmite la potencia al energizar el motor; para que la máquina pueda mezclar en el primer recipiente el metóxido, en el segundo recipiente el aceite usado de cocina y en el tercer recipiente la mezcla del metóxido + aceite.

Estructura. La estructura de la máquina se diseña en perfiles de Acero Galvanizado. Y los recipientes cilíndricos elipsoidales se diseñan en planchas de Acero Inoxidable AISI 304.

Electroválvulas o válvulas solenoides. Son dispositivos diseñados para controlar el flujo de un fluido; en la máquina sirve para transportar el fluido del metóxido y del aceite usado de cocina hacia el tercer recipiente y puedan ser mezclados, la compuerta se abre solo cuando está energizado.

Arduino. Es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto basado en hardware libre, software flexible de fácil manejo; para que pueda controlar los elementos electrónicos de la máquina en este caso tiempos de los agitadores, temperatura de la resistencia eléctrica, apertura de las electroválvulas y los botones de encendido y apagado.

Regulador de voltaje o estabilizador de voltaje. Se encarga de mantener el voltaje estabilizado y libre de variaciones; en la máquina se aplica para reducir la velocidad angular de los agitadores.

CAPÍTULO IV

4 DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL PROTOTIPO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

Una vez llegado al concepto de la máquina presentado en la Figura 1-3. En este capítulo se aborda todas las actividades correspondientes al diseño de detalle, el orden de trabajo corresponde al de la metodología propuesta en la Figura 1-3 encontrada la mejor alternativa para el prototipo de la máquina de obtención de biodiésel, se procede al diseño y selección de elementos mecánicos que componen los diferentes sistemas del prototipo de máquina antes mencionada, para esto se toma en cuenta los principios básicos del diseño, normas, teorías existentes y datos obtenidos.

4.1 Dimensionamiento

El dimensionamiento del prototipo de máquina se basa principalmente en su capacidad, el objetivo de este trabajo es obtener 5 litros de biodiésel a partir de aceite usado de cocina.

4.1.1 Dimensiones de los recipientes cilíndricos elipsoidales

Para encontrar las dimensiones y tamaño de los recipientes cilíndricos elipsoidales, se toma como referencia el Código ASME para recipientes de almacenamiento. (ASME, 2007)

4.1.1.1 Geometría de los recipientes

Tabla 1-4: Diseño de tanques de almacenamiento

<ul style="list-style-type: none">• Recipientes para sólidos	<ul style="list-style-type: none">- Cabeza: elipsoidal 2:1- Fondo: cónico- Carcasa: cilíndrica
<ul style="list-style-type: none">• Recipientes para líquidos	<ul style="list-style-type: none">- Cabeza y fondo: elipsoidal 2:1- Carcasa: cilíndrica

Fuente: (ASME, 2007)

Las dimensiones para cada una de las partes vendrán determinadas en función de la altura de la carcasa cilíndrica H son las siguientes proporciones, ver Figura 5-3.

4.1.1.2 Cálculo del diseño del primer recipiente (metóxido)

4.1.1.2.1 Altura del cilindro

Como dato tenemos el volumen del primer recipiente:

$$V = 5 \text{ [lt]} = 5000 \text{ [ml]} = 5\,000\,000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

A esto lo relacionamos con la cantidad de metanol que vamos a ingresar en el recipiente. Tomamos como valor para el cálculo una capacidad extra que tendrá el recipiente para que no pueda desbordarse en el momento de la agitación, al mezclar el metanol + sosa cáustica.

$$V_{\text{Recipiente}} = \pi \frac{1}{4} (D_{\text{Cilindro}})^2 (H_{\text{Cilindro}}) \quad (1)$$

$$H_{\text{Cilindro}} = \frac{3}{2} (D_{\text{Cilindro}}) \quad (2)$$

Dónde:

V = volumen [mm³]

D_{Cilindro} = diámetro del cilindro [mm]

H_{Cilindro} = altura del cilindro [mm]

Remplazamos la ecuación 2 en la ecuación 1, y despejamos el diámetro del cilindro de la ecuación 1, teniendo como resultado:

$$D_{\text{Cilindro}} = \sqrt[3]{\frac{8(V_{\text{Recipiente}_1})}{3\pi}}$$

Obteniendo un resultado del diámetro de cilindro de:

$$D_{\text{Cilindro}_1} = \sqrt[3]{\frac{8(5\,000\,000\text{ mm}^3)}{3\pi}} = 161,91\text{ [mm]}$$

Remplazamos en la ecuación 2 los valores obtenidos:

$$H_{\text{Cilindro}_1} = \frac{3}{2}(161,91\text{ mm}) = 242,86\text{ [mm]}$$

4.1.1.2.2 *Altura del fondo elipsoidal*

$$h_{\text{Elipsoide}} = \frac{D_{\text{Cilindro}}}{4} \quad (3)$$

Dónde:

$h_{\text{Elipsoide}}$ = altura del fondo elipsoidal [mm]

$$h_{\text{Elipsoide}_1} = \frac{161,91}{4} = 40,48\text{ [mm]}$$

4.1.1.2.3 *Volumen del cilindro*

En donde el radio del primer cilindro es:

$$R_{\text{Cilindro}} = \frac{D_{\text{Cilindro}}}{2} \quad (4)$$

$$R_{\text{Cilindro}_1} = \frac{161,91\text{ mm}}{2} = 80,955\text{ [mm]}$$

Remplazamos el resultado de la ecuación 4 en la ecuación 5:

$$V_{\text{Cilindro}} = \pi(R_{\text{Cilindro}_1})^2 (H_{\text{Cilindro}}) \quad (5)$$

Dónde:

V_{Cilindro} = volumen del cilindro [lt]

$$V_{\text{Cilindro}_1} = \pi[(80,955 \text{ mm})^2](242,86 \text{ mm})$$

$$V_{\text{Cilindro}_1} = 5\,000\,000 \text{ [mm}^3] = 5 \text{ [lt]}$$

4.1.1.2.4 Volumen del fondo elipsoidal

$$V_{\text{Elipsoide}} = \frac{\pi(D_{\text{Cilindro}})^2(h_{\text{Elipsoide}})}{6} = \frac{\pi(D_{\text{Cilindro}})^2(D_{\text{Cilindro}}/4)}{6} \quad (6)$$

Dónde:

$V_{\text{Elipsoide}}$ = volumen del fondo elipsoidal [lt]

$$V_{\text{Elipsoide}_1} = \frac{\pi * (161,91 \text{ mm})^2 * (161,91 \text{ mm}/4)}{6}$$

$$V_{\text{Elipsoide}_1} = 555\,555,56 \text{ [mm}^3] = 0,56 \text{ [lt]}$$

4.1.1.2.5 Volumen total del primer recipiente (metóxido)

$$V_{\text{Recipiente}} = V_{\text{Cilindro}} + V_{\text{Elipsoide}} \quad (7)$$

Dónde:

$V_{\text{Recipiente}}$ = volumen total del recipiente [lt]

$$V_{\text{Recipiente}_1} = 5 + 0,56 = 5,56 \text{ [lt]}$$

4.1.1.2.6 Altura total del primer recipiente (metóxido)

$$H_{\text{Recipiente}} = H_{\text{Cilindro}} + h_{\text{Elipsoide}} \quad (8)$$

Dónde:

$$H_{\text{Recipiente}} = \text{altura total recipiente} \quad [m]$$

$$H_{\text{Recipiente}_1} = 242,86 + 40,48$$

$$H_{\text{Recipiente}_1} = 283,34 \text{ [mm]} = 0,28 \text{ [m]}$$

4.1.1.2.7 Presión de trabajo del primer recipiente (metóxido)

Como datos tenemos:

$$P_{\text{atmosférica}} = 101325 \text{ [Pa]}$$

$$g = 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Para la densidad del metóxido (metanol + sosa cáustica) es:

$$\rho_{\text{Mezcla}} = \frac{[V_1 \cdot \rho_1] + [V_2 \cdot \rho_2]}{V_1 + V_2} \quad (9)$$

$$\rho_{\text{Metóxido}} = \frac{[(V_{\text{Metanol}})(\rho_{\text{Metanol}})] + [(V_{\text{Sosa Cáustica}})(\rho_{\text{Sosa Cáustica}})]}{V_{\text{Metanol}} + V_{\text{Sosa Cáustica}}}$$

$$\rho_{\text{Metóxido}} = \frac{[(1,2 \text{ lt}) * (791,8 \text{ Kg}/\text{m}^3)] + [(0,006 \text{ lt}) * (2100 \text{ Kg}/\text{m}^3)]}{1,2 \text{ lt} + 0,006 \text{ lt}}$$

$$\rho_{\text{Metóxido}} = 798,31 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Remplazamos estos valores en la ecuación 10:

$$P_{\text{Recipiente}} = P_{\text{atmosférica}} + \gamma Z \quad (10)$$

$$P_{\text{Recipiente}_1} = P_{\text{atmosférica}} + [((\rho_{\text{Metóxido}})(g))(H_{\text{Recipiente}_1})]$$

Dónde:

$$P_{\text{Recipiente}} = \text{presión del recipiente} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$P_{\text{atmosférica}}$ = presión atmosférica	$[Pa]$
γ = peso específico	$\left[\frac{Kg}{m^2.s^2}\right]$
Z = altura de presión	$[m]$
$\rho_{\text{Metóxido}}$ = densidad del metóxido	$\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
g = gravedad	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$$P_{\text{Recipiente}_1} = 101325 \text{ Pa} + \left[\left(798,31 \frac{Kg}{m^3} \right) \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right) \right] (0,28 \text{ m})$$

$$P_{\text{Recipiente}_1} = 103\,543,91 \text{ [Pa]} = 1,06 \left[\frac{Kg}{cm^2} \right]$$

4.1.1.2.8 Espesor del cilindro

Como datos tenemos:

De las propiedades mecánicas para los materiales, el Acero Inoxidable AISI 304 tiene una tensión admisible de: (Boyer, 1985)

$$\sigma_t = 3795 \left[\frac{Kg}{cm^2} \right]$$

Y una eficiencia de soldadura para junta soldada a tope en doble V y no examinada de:

$$E_s = 0,6 \text{ [Adimensional]}$$

Remplazamos estos valores en la ecuación 11:

$$t_{\text{Cilindro}} = \frac{\gamma(D_{\text{Cilindro}})(R_{\text{Cilindro}})}{(\sigma_t)(E_s)} \quad (11)$$

Dónde:

$$\gamma = \text{peso específico} \quad \left[\frac{Kg}{cm^3} \right]$$

$$\sigma_t = \text{tensión admisible para el Acero Inoxidable 304 AISI} \quad \left[\frac{Kg}{cm^2} \right]$$

$$E_s = \text{eficiencia de soldadura según tipo de soldadura. Para junta soldada a tope en doble V y no examinada} \quad [\text{Adimensional}]$$

$$t_{\text{Cilindro}} = \text{espesor del cilindro} \quad [mm]$$

$$t_{\text{Cilindro}_1} = \frac{[(\rho_{\text{Metóxido}})(g)](D_{\text{Cilindro}})(R_{\text{Cilindro}})}{(\sigma_t)(E_s)}$$

$$t_{\text{Cilindro}_1} = \frac{\left[0,78 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}\right] * (16,19\text{cm}) * (8,09 \text{ cm})}{\left(3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) * (0,6)}$$

$$t_{\text{Cilindro}_1} = 0,045 [\text{cm}] = 0,45 [\text{mm}]$$

4.1.1.2.9 Espesor del fondo elipsoidal

$$t_{\text{Elipsoide}} = \frac{(P_{\text{Recipiente}})(D_{\text{Cilindro}})}{2(\sigma_t)(E_s) + 1,8(P_{\text{Recipiente}})} \quad (12)$$

Dónde:

$t_{\text{Elipsoide}}$ = espesor del fondo elipsoidal [mm]

$$t_{\text{Elipsoide}_1} = \frac{\left(1,06 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) * (16,19\text{cm})}{2 \left(3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) * (0,6) + 1,8 \left(1,06 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)}$$

$$t_{\text{Elipsoide}_1} = 0,00375 [\text{cm}] = 0,0375 [\text{mm}]$$

Como el $t_{\text{Cilindro}_1} > t_{\text{Elipsoide}_1}$, por tanto se toma en cuenta el valor de 0,45 mm para el diseño.

4.1.1.2.10 Material de construcción del primer recipiente (metóxido)

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{\sigma_t}{n} \quad (13)$$

Dónde:

$\sigma_{\text{Admisible}}$ = tensión admisible $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right]$
 n = coeficiente de seguridad [Adimensional]

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{2}$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = 1897,5 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.2.11 Temperatura del primer recipiente (metóxido)

$$T_{\text{Recipiente}} = T_{\text{trabajo}} + T_{\text{ambiente}} \quad (14)$$

Dónde:

$T_{\text{Recipiente}}$ = temperatura máxima del recipiente [°C]

T_{trabajo} = temperatura de trabajo del metóxido [°C]

T_{ambiente} = temperatura ambiente [°C]

$$T_{\text{Recipiente}_1} = T_{\text{trabajo}} + T_{\text{ambiente}}$$

$$T_{\text{Recipiente}_1} = 15 \text{ °C} + 15 \text{ °C}$$

$$T_{\text{Recipiente}_1} = 30 \text{ [°C]}$$

4.1.1.2.12 Prueba hidráulica del primer recipiente (metóxido)

$$P_{\text{Hidráulica}} = \frac{(1,5P_{\text{Recipiente}})(\sigma_{\text{Admisible}})}{\sigma_t} \quad (15)$$

Dónde:

$P_{\text{Hidráulica}}$ = presión hidráulica del recipiente [Pa]

$$P_{\text{Hidráulica}_1} = \frac{1,5(103\,543,91 \text{ Pa}) * \left(1897,5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)}{3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$P_{\text{Hidráulica}_1} = 77\,657,94 \text{ [Pa]}$$

4.1.1.3 Cálculo del diseño del segundo recipiente (aceite usado de cocina)

4.1.1.3.1 Altura del cilindro

Como dato tenemos el volumen del segundo recipiente:

$$V = 10 \text{ [lt]} = 10\,000 \text{ [ml]} = 10\,000\,000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

A esto lo relacionamos con la cantidad de aceite de cocina usado que vamos a ingresar en el recipiente. Tomamos como valor para el cálculo una capacidad extra que tendrá el recipiente para que no pueda desbordarse en el momento de la agitación.

$$D_{\text{Cilindro}_2} = \sqrt[3]{\frac{8(V_{\text{Recipiente}_2})}{3\pi}}$$
$$D_{\text{Cilindro}_2} = \sqrt[3]{\frac{8(10\,000\,000 \text{ mm}^3)}{3\pi}} = 203,99 \text{ [mm]}$$

Donde la altura del segundo cilindro es:

$$H_{\text{Cilindro}_2} = \frac{3}{2}(D_{\text{Cilindro}_2})$$
$$H_{\text{Cilindro}_2} = \frac{3}{2}(203,99 \text{ mm}) = 305,99 \text{ [mm]}$$

4.1.1.3.2 Altura del fondo elipsoidal

$$h_{\text{Elipsoide}_2} = \frac{D_{\text{Cilindro}_2}}{4}$$
$$h_{\text{Elipsoide}_2} = \frac{203,99 \text{ mm}}{4} = 50,99 \text{ [mm]}$$

4.1.1.3.3 Volumen del cilindro

Para el radio del segundo cilindro es:

$$R_{\text{Cilindro}_2} = \frac{D_{\text{Cilindro}_2}}{2}$$
$$R_{\text{Cilindro}_2} = \frac{203,99 \text{ mm}}{2} = 101,995 \text{ [mm]}$$

Donde el volumen del segundo cilindro da como resultado:

$$V_{\text{Cilindro}_2} = \pi (R_{\text{Cilindro}_2})^2 (H_{\text{Cilindro}_2})$$
$$V_{\text{Cilindro}_2} = \pi [(101,995 \text{ mm})^2] (305,99 \text{ mm})$$
$$V_{\text{Cilindro}_2} = 10\,000\,000 \text{ [mm}^3\text{]} = 10 \text{ [lt]}$$

4.1.1.3.4 Volumen del fondo elipsoidal

$$V_{\text{Elipsoide}_2} = \frac{\pi (D_{\text{Cilindro}_2})^2 \left(\frac{D_{\text{Cilindro}_2}}{4} \right)}{6}$$
$$V_{\text{Elipsoide}_2} = \frac{\pi * (203,99 \text{ mm})^2 * \left(\frac{203,99 \text{ mm}}{4} \right)}{6}$$
$$V_{\text{Elipsoide}_2} = 1\,111\,111,11 \text{ [mm}^3\text{]} = 1,11 \text{ [lt]}$$

4.1.1.3.5 Volumen total del segundo recipiente (aceite usado de cocina)

$$V_{\text{Recipiente}_2} = V_{\text{Cilindro}_2} + V_{\text{Elipsoide}_2}$$
$$V_{\text{Recipiente}_2} = 10 + 1,11 = 11,11 \text{ [lt]}$$

4.1.1.3.6 Altura total del segundo recipiente (aceite usado de cocina)

$$H_{\text{Recipiente}_2} = H_{\text{Cilindro}_2} + h_{\text{Elipsoide}_2}$$
$$H_{\text{Recipiente}_2} = 305,99 + 50,99$$
$$H_{\text{Recipiente}_2} = 356,98 \text{ [mm]} = 0,36 \text{ [m]}$$

4.1.1.3.7 Presión de trabajo del segundo recipiente (aceite usado de cocina)

Como datos tenemos:

$$P_{\text{atmosférica}} = 101325 \text{ [Pa]}$$

$$g = 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\rho_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}} = 907 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Dónde:

$$\rho_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}} = \text{densidad del aceite usado de cocina a } 40^\circ\text{C} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Remplazamos estos valores, para obtener la presión del recipiente:

$$P_{\text{Recipiente}_2} = P_{\text{atmosférica}} + \left[(\rho_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}})(g) \left(H_{\text{Recipiente}_2} \right) \right]$$

$$P_{\text{Recipiente}_2} = 101325 \text{ Pa} + \left[\left(907 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right] (0,36 \text{ m})$$

$$P_{\text{Recipiente}_2} = 104\,501,29 \text{ [Pa]} = 1,07 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.3.8 Espesor del cilindro

$$t_{\text{Cilindro}_2} = \frac{[(\rho_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}})(g)](D_{\text{Cilindro}_2})(R_{\text{Cilindro}_2})}{(\sigma_t)(E_s)}$$

$$t_{\text{Cilindro}_2} = \frac{\left[0,89 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right] * (20,39 \text{ cm}) * (10,2 \text{ cm})}{\left(3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) * (0,6)}$$

$$t_{\text{Cilindro}_2} = 0,081 \text{ [cm]} = 0,81 \text{ [mm]}$$

4.1.1.3.9 Espesor del fondo elipsoidal

$$t_{\text{Elipsoide}_2} = \frac{(P_{\text{Recipiente}_2})(D_{\text{Cilindro}_2})}{2(\sigma_t)(E_s) + 1,8(P_{\text{Recipiente}_2})}$$

$$t_{\text{Elipsoide}_2} = \frac{\left(1,07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) * (20,39 \text{ cm})}{2 \left(3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) * (0,6) + 1,8 \left(1,07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)}$$

$$t_{\text{Elipsoide}_2} = 0,0048 [\text{cm}] = 0,48 [\text{mm}]$$

Como el $t_{\text{Cilindro}_2} > t_{\text{Elipsoide}_2}$, por tanto se toma en cuenta el valor de 0,48 mm para el diseño.

4.1.1.3.10 Material de construcción del segundo recipiente (aceite usado de cocina)

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{\sigma_t}{n}$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{2}$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = 1897,5 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.3.11 Temperatura del segundo recipiente (aceite usado de cocina)

$$T_{\text{Recipiente}_2} = T_{\text{trabajo}} + T_{\text{ambiente}}$$

$$T_{\text{Recipiente}_2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} + 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Recipiente}_2} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.1.1.3.12 Prueba hidráulica del segundo recipiente (aceite usado de cocina)

$$P_{\text{Hidráulica}_2} = \frac{\left[1,5 \left(P_{\text{Recipiente}_2}\right)\right] (\sigma_{\text{Admisible}})}{\sigma_t}$$

$$P_{\text{Hidráulica}_2} = \frac{1,5(104\,501,29 \text{ Pa}) * \left(1897,5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)}{3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$P_{\text{Hidráulica}_2} = 78\,611,78 \text{ (Pa)}$$

4.1.1.4 Cálculo del diseño del tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

4.1.1.4.1 Altura del cilindro

Como dato tenemos el volumen del tercer recipiente:

$$V = 15 \text{ [lt]} = 15\,000 \text{ [ml]} = 15\,000\,000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

A esto lo relacionamos la cantidad del primer tanque (metóxido), con lo del segundo tanque (aceite de cocina usado); ya que ingresará los dos fluidos al recipiente. Tomamos como valor para el cálculo una capacidad extra que tendrá el recipiente para que no pueda desbordarse en el momento de la agitación. , al mezclar el metóxido + aceite de cocina usado.

$$D_{\text{Cilindro}_3} = \sqrt[3]{\frac{8(V_{\text{Recipiente}_3})}{3\pi}}$$
$$D_{\text{Cilindro}_3} = \sqrt[3]{\frac{8(15\,000\,000 \text{ mm}^3)}{3\pi}} = 233,51 \text{ [mm]}$$

Donde la altura del tercer cilindro es:

$$H_{\text{Cilindro}_3} = \frac{3}{2}(D_{\text{Cilindro}_3})$$
$$H_{\text{Cilindro}_3} = \frac{3}{2}(233,51 \text{ mm}) = 350,26 \text{ [mm]}$$

4.1.1.4.2 Altura del fondo elipsoidal

$$h_{\text{Elipsoide}_3} = \frac{D_{\text{Cilindro}_3}}{4}$$
$$h_{\text{Elipsoide}_3} = \frac{233,51 \text{ mm}}{4} = 58,38 \text{ [mm]}$$

4.1.1.4.3 Volumen del cilindro

Para el radio del tercer cilindro es:

$$R_{\text{Cilindro}_3} = \frac{D_{\text{Cilindro}_3}}{2}$$
$$R_{\text{Cilindro}_3} = \frac{233,51 \text{ mm}}{2} = 116,755 [\text{mm}]$$

Donde el volumen del tercer cilindro da como resultado:

$$V_{\text{Cilindro}_3} = \pi (R_{\text{Cilindro}_3})^2 (H_{\text{Cilindro}_3})$$
$$V_{\text{Cilindro}_3} = \pi [(116,755 \text{ mm})^2] (350,26 \text{ mm})$$
$$V_{\text{Cilindro}_3} = 15\,000\,000 [\text{mm}^3] = 15 [\text{lt}]$$

4.1.1.4.4 Volumen del fondo elipsoidal

$$V_{\text{Elipsoide}_3} = \frac{\pi (D_{\text{Cilindro}_3})^2 \left(\frac{D_{\text{Cilindro}_3}}{4} \right)}{6}$$
$$V_{\text{Elipsoide}_3} = \frac{\pi * (233,51 \text{ mm})^2 * \left(\frac{233,51 \text{ mm}}{4} \right)}{6}$$
$$V_{\text{Elipsoide}_3} = 1\,666\,666,67 [\text{mm}^3] = 1,67 [\text{lt}]$$

4.1.1.4.5 Volumen total del tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

$$V_{\text{Recipiente}_3} = V_{\text{Cilindro}_3} + V_{\text{Elipsoide}_3}$$
$$V_{\text{Recipiente}_3} = 15 + 1,67 = 16,67 [\text{lt}]$$

4.1.1.4.6 Altura total del tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

$$H_{\text{Recipiente}_3} = H_{\text{Cilindro}_3} + h_{\text{Elipsoide}_3}$$
$$H_{\text{Recipiente}_3} = 350,26 + 58,38$$
$$H_{\text{Recipiente}_3} = 408,64 [\text{mm}] = 0,41 [\text{m}]$$

4.1.1.4.7 Presión de trabajo del tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

Como datos tenemos:

$$P_{\text{atmosférica}} = 101325 \text{ [Pa]}$$

$$g = 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Para la densidad de la mezcla (metóxido + aceite usado de cocina) es:

$$\rho_{\text{Mezcla}} = \frac{[(V_{\text{Metóxido}})(\rho_{\text{Metóxido}})] + [(V_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}})(\rho_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}})]}{V_{\text{Metóxido}} + V_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}}}$$

Dónde:

$$\rho_{\text{Mezcla}} = \text{densidad de la mezcla (metóxido + aceite de cocina usado)} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_{\text{Mezcla}} = \frac{(1,2 \text{ lt} * 798,31 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) + (5 \text{ lt} * 907 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}{1,2 \text{ lt} + 5 \text{ lt}}$$

$$\rho_{\text{Mezcla}} = 885,96 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Remplazamos estos valores, para obtener la presión del recipiente:

$$P_{\text{Recipiente}_3} = P_{\text{atmosférica}} + [((\rho_{\text{Mezcla}})(g))(H_{\text{Recipiente}_3})]$$

$$P_{\text{Recipiente}_3} = 101325 \text{ Pa} + \left[\left(885,96 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right] (0,41 \text{ m})$$

$$P_{\text{Recipiente}_3} = 104\,876,61 \text{ [Pa]} = 1,07 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.4.8 Espesor del cilindro

$$t_{\text{Cilindro}_3} = \frac{[(\rho_{\text{Mezcla}})(g)](D_{\text{Cilindro}_3})(R_{\text{Cilindro}_3})}{(\sigma_t)(E_s)}$$

$$t_{\text{Cilindro}_3} = \frac{\left[0,87 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right] * (23,35 \text{ cm}) * (11,68 \text{ cm})}{\left(3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) * (0,6)}$$

$$t_{\text{Cilindro}_3} = 0,104 \text{ [cm]} = 1,04 \text{ [mm]}$$

4.1.1.4.9 Espesor del fondo elipsoidal

$$t_{\text{Elipsoide}_3} = \frac{(P_{\text{Recipiente}_3})(D_{\text{Cilindro}_3})}{2(\sigma_t)(E_s) + 1,8(P_{\text{Recipiente}_3})}$$

$$t_{\text{Elipsoide}_3} = \frac{\left(1,07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) * (23,35 \text{ cm})}{2 \left(3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) * (0,6) + 1,8 \left(1,07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)}$$

$$t_{\text{Elipsoide}_3} = 0,005 \text{ [cm]} = 0,05 \text{ [mm]}$$

Como el $t_{\text{Cilindro}_3} > t_{\text{Elipsoide}_3}$, por tanto se toma en cuenta el valor de 1,04 mm para el diseño.

Luego de haber realizado el diseño del espesor de los tres recipientes, el espesor más crítico es $t_{\text{Cilindro}_3} = 1,04 \text{ mm}$; por cuestión de seguridad se recomienda construir los recipientes con un espesor $t = 2 \text{ mm}$; donde se utilizará una plancha de Acero Inoxidable AISI 304 para disminuir la corrosión presente por los reactivos a manipular.

4.1.1.4.10 Material de construcción del tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{\sigma_t}{n}$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{3795 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{2}$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = 1897,5 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.4.11 Temperatura del tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

$$T_{\text{Recipiente}_3} = T_{\text{trabajo}} + T_{\text{ambiente}}$$

$$T_{\text{Recipiente}_3} = 40\text{ }^{\circ}\text{C} + 15\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Recipiente}_3} = 55\text{ }[^{\circ}\text{C}]$$

4.1.1.4.12 Prueba hidráulica del tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

$$P_{\text{Hidráulica}_3} = \frac{[1,5 (P_{\text{Recipiente}_3})] (\sigma_{\text{Admisible}})}{\sigma_t}$$

$$P_{\text{Hidráulica}_3} = \frac{1,5(104\ 876,61\text{ Pa}) * \left(1897,5\ \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)}{3795\ \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$P_{\text{Hidráulica}_3} = 78\ 657,46\text{ [Pa]}$$

Mediante el software SAP2000 se verifica las presiones del tercer recipiente. Se toma en cuenta que el espesor del recipiente es de $t = 2\text{ mm}$. Este valor se asigna en las propiedades del material, además de las Propiedades Mecánicas para los Materiales, el Acero Inoxidable AISI 304.

En el recipiente se encuentra cargas de presión hidrostática y presión atmosférica, asignadas en las paredes y fondo elipsoidal del mismo. La presión hidrostática y la presión atmosférica asignada es de $104\ 876,61\text{ Pa}$, 101325 Pa , respectivamente como se muestran en las siguientes Figuras 1-4 y 2-4.

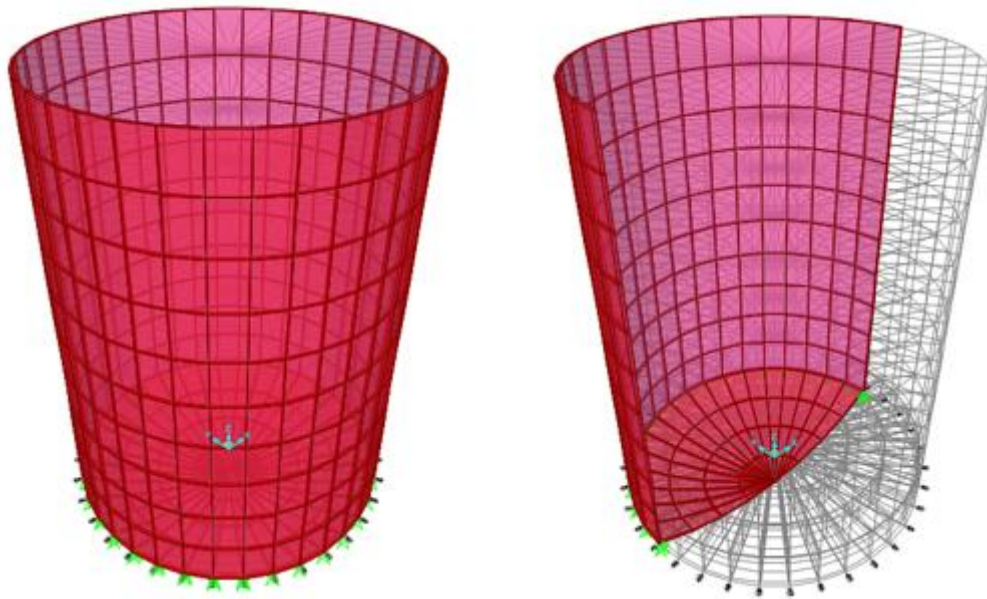


Figura 1-4: Diseño SAP2000 – Tercer recipiente

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

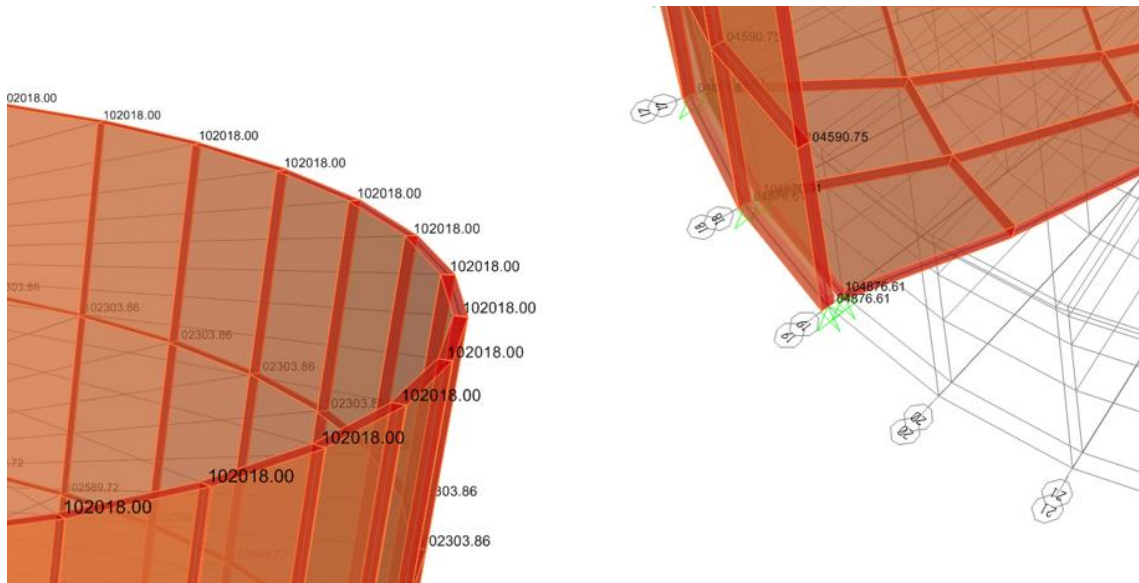


Figura 2-4: Diseño SAP2000 – Análisis de cargas hidrostáticas del tercer recipiente

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

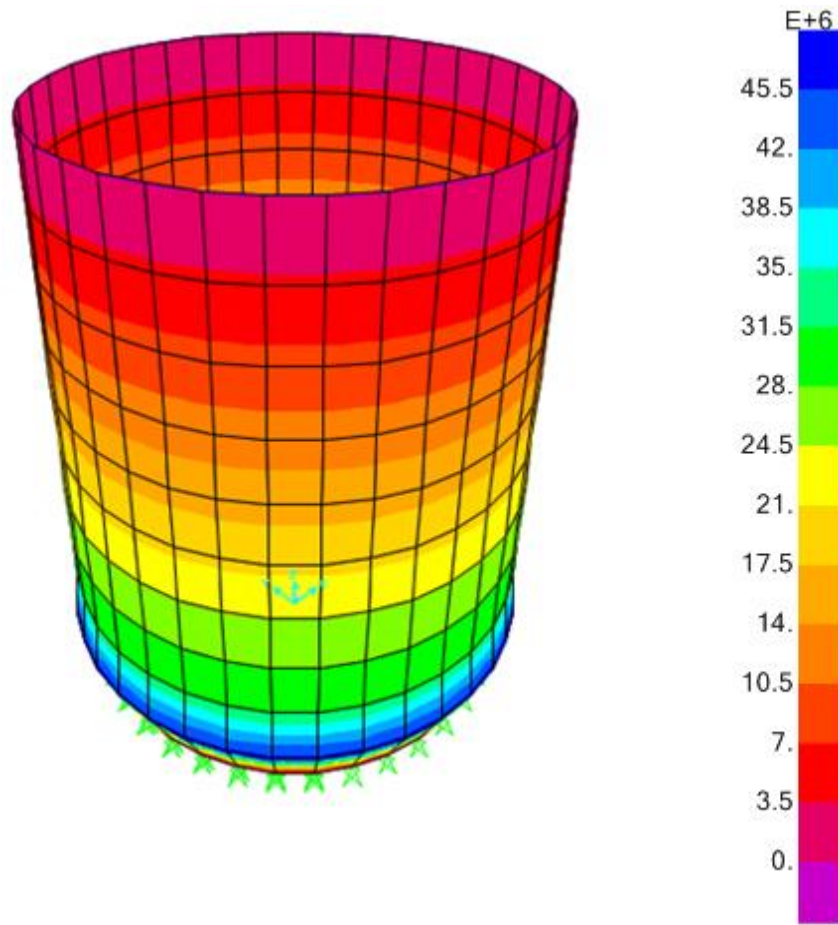


Figura 3-4: Diseño SAP-2000 – Análisis de presiones del tercer recipiente

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Analizando la Figura 3-4, se observa que la presión en la parte superior del tercer recipiente es de 3,5 MPa, ya que al ser un recipiente abierto se encuentra a presión atmosférica. La presión más crítica se encuentra en el fondo del tercer recipiente con un valor de 45,5 MPa, que comprende a la presión atmosférica sumada a la presión hidrostática del fluido en ese punto, teniendo en cuenta que el valor S_{ut} y S_y para el acero Inoxidable AISI 304 es de 230 MPa y 540 MPa, respectivamente. El recipiente al estar trabajando a una presión menor del que resiste el material seleccionado, no existe deformación excesiva ni colapso del material.

4.1.2 Diseño y cálculos de un agitador de fluidos

4.1.2.1 Cálculo del diseño del agitador para el primer recipiente (metóxido)

La necesidad es lograr una agitación rápida y una mezcla homogénea del metanol y la sosa cáustica. En el recipiente al mezclar estos dos reactivos se realizará un aumento de temperatura, ya que esto produce desprendimiento de calor, se estima que llega a una temperatura de 15 a 20 °C, lo cual permite homogenizar la mezcla produciendo finalmente el metóxido resultante.

Se desarrollará una propuesta de diseño del agitador en función de los siguientes datos indicados en la Tabla 2-4 y la Figura 4-4 con las dimensiones generales del recipiente.

Tabla 2-4: Datos de entrada para diseñar un agitador de fluidos

FLUIDO A AGITAR	Solución de metanol al 90% y sosa cáustica
Densidad fluido	791,8 kg/m ³
Viscosidad cinemática	0,47 m ² /s
Presión de operación	1,06 kg/cm ²
Temperatura de trabajo	10 a 30 °C
Fondo de recipiente	Elipsoidal
Volumen de llenado	5 litros

Fuente: (NARANJO, 2007)

Para el recipiente del metóxido, se parte del dato que por cada litro de aceite se debe usar 0,2 litros de metanol al 90% de pureza, es decir tiene presencia del 10% de agua en él. Por tanto el objetivo es obtener 5 litros de biodiésel, así que se debe diseñar un recipiente para 5 litro de metanol, a esto se aumenta un 30% ya que el fluido presente en el recipiente está sometido a movimiento rotacional por medio de los agitadores y 3,5 gramos de sosa cáustica por cada litro de aceite a transformar.

Se define utilizar un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco de 3 aspas, ya que este tipo de impulsor trabaja principalmente para fluidos de baja viscosidad y para velocidades que pueden ser medias o altas.

Para la selección del motor, este debe cumplir con las condiciones propias de un elemento mecánico expuesto a la intemperie. Por otra parte el motor seleccionado debe trabajar a velocidades medias con el fin de reducir el consumo de potencia.

Como velocidad media para un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco las velocidades pueden ser del orden de las 100 a las 300 rpm.

Como datos tenemos:

$$V_{\text{Cilindro}_1} = 5 \text{ [lt]} = 5\,000\,000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$D_{\text{Cilindro}_1} = 161,91 \text{ [mm]}$$

$$H_{\text{Cilindro}_1} = 242,86 \text{ [mm]}$$

4.1.2.1.1 Distancia fondo a base del impulsor

$$E = 0,33(D_{\text{Cilindro}}) \quad (16)$$

Dónde:

E = distancia fondo a base del impulsor [mm]

$$E_1 = 0,33(161,91 \text{ mm}) = 53,43 \text{ [mm]}$$

4.1.2.1.2 Diámetro del impulsor

$$Da = 0,33(D_{\text{Cilindro}}) \quad (17)$$

Dónde:

Da = diámetro del impulsor [mm]

$$Da_1 = 0,33(161,91 \text{ mm}) = 53,43 \text{ [mm]}$$

4.1.2.1.3 *Largo de la paleta*

$$L_p = 0,25(Da) \quad (18)$$

Dónde:

L_p = largo de la paleta [mm]

$$L_{p1} = 0,25(53,43 \text{ mm}) = 13,36[mm]$$

4.1.2.1.4 *Ancho de la paleta*

$$W = 0,2(Da) \quad (19)$$

Dónde:

W = Ancho de la paleta [mm]

$$W_1 = 0,2(53,43 \text{ mm}) = 10,69 [mm]$$

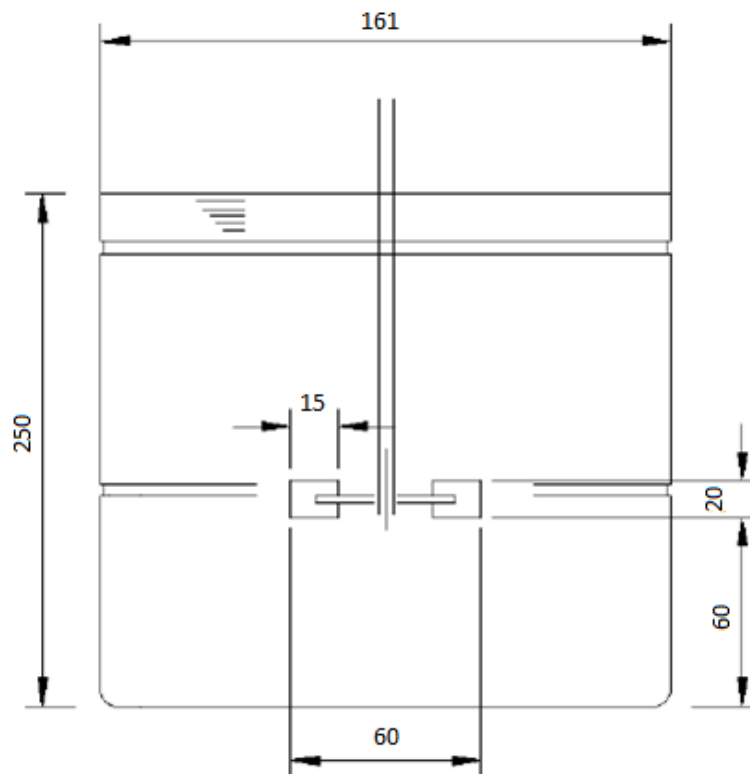


Figura 4-4: Diseño del agitador para el primer recipiente (metóxido)

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

4.1.2.1.5 Cálculo de potencia consumida

Para el cálculo de la potencia consumida se calcula en primera instancia el número de Reynolds.

$$Re = \frac{(N)(Da)^2(\rho_{Metóxido})}{\mu_{Metóxido}} \quad (20)$$

Dónde:

Re = número de Reynolds

[Adimensional]

$\rho_{Metóxido}$ = densidad del metóxido

$\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$\mu_{Metóxido}$ = viscosidad dinámica del metóxido

[Pa. s]

$\nu_{Metóxido}$ = viscosidad cinemática del metóxido

$\left[\frac{m^2}{s}\right]$

N = velocidad angular

[rps]

Da = diámetro del impulsor

[m]

Como datos de entrada se tiene:

$$\rho_{\text{Metóxido}} = 798,31 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\mu_{\text{Metóxido}} = 0,00059 [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

$$\nu_{\text{Metóxido}} = 0,47 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$N = 100 [\text{rpm}] = 1,67 [\text{rps}]$$

$$Da_1 = 53,43 [\text{mm}] = 0,053 [\text{m}]$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 20:

$$\text{Re} = \frac{(1,67 \text{ rps}) * (0,053 \text{ m})^2 * \left(798,31 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)}{(0,00059 \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$\text{Re} = 6\,437,56 [\text{Adimensional}]$$

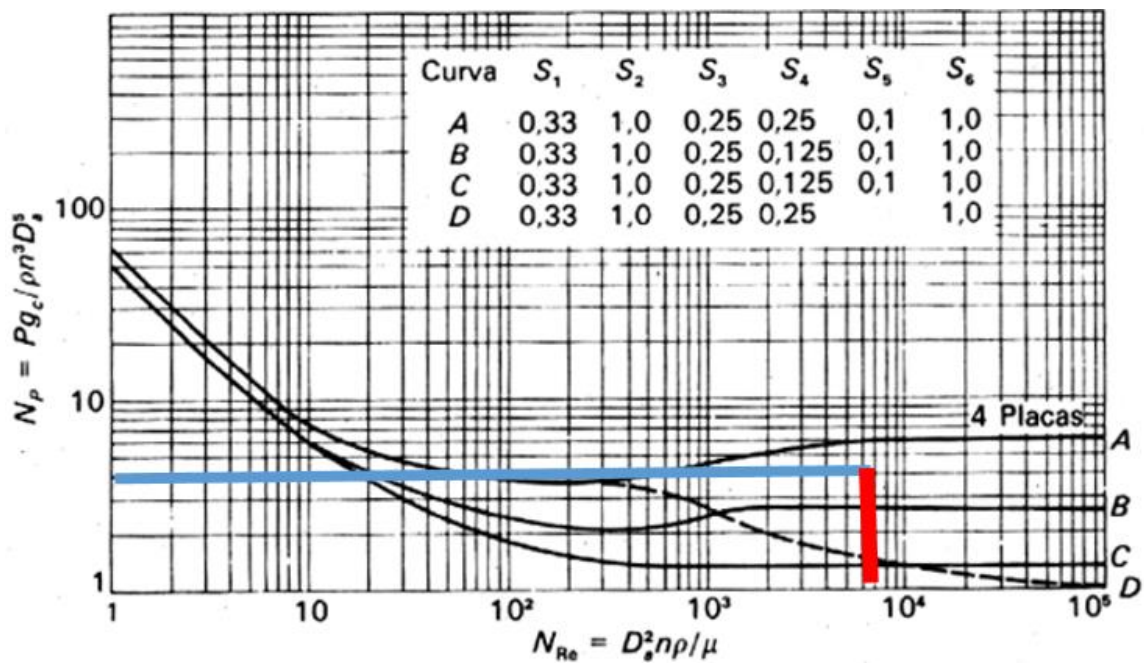


Figura 5-4: Número de potencia N_p frente a N_{Re} para turbina de 3 aspas

Fuente: (CASTILLO, 2013)

Utilizando la Figura 5-4, se determina el número de potencia (N_p) mediante la interpolación con el número de Reynolds calculado, para un impulsor de turbina de 3 aspas.

$$P = Np[(N)^3(Da)^5(\rho_{Metóxido})] \quad (21)$$

$$P_1 = 4 \left[(1,67 \text{ rps})^3 * (0,053 \text{ m})^5 * \left(798,31 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \right] = 0,0064 \text{ [W]}$$

4.1.2.2 Cálculo del diseño del agitador para el segundo recipiente (aceite usado de cocina)

La necesidad es lograr una agitación rápida y una mezcla homogénea del aceite, además de eliminar desechos sólidos presentes en el mismo. El objetivo es aumentar la temperatura del aceite mediante resistencia eléctrica, la cual debe llegar a 40 °C, lo cual permite disminuir la viscosidad del aceite de cocina usado y así poder evacuar con facilidad hacia el tercer recipiente.

Se desarrolla una propuesta de diseño del agitador en función de los siguientes datos indicados en la Tabla 3-4 y la Figura 6-4 con las dimensiones generales del recipiente.

Tabla 3-4: Datos de entrada para diseñar un agitador de fluidos

FLUIDO A AGITAR	Solución de aceite usado de cocina
Densidad fluido	907 kg/m ³
Viscosidad cinemática	17,54 m ² /s
Presión de operación	1,07 kg/cm ²
Temperatura de trabajo	40 °C
Fondo	Elipsoidal
Volumen de llenado	10 litros

Fuente: (NARANJO, 2007)

Para el recipiente de aceite usado de cocina, se parte del dato que por cada litro de aceite se obtiene aproximadamente 0,85 litros de biodiésel. Por tanto el objetivo es obtener 5 litros de biodiesel, se debe diseñar un recipiente para 10 litros de aceite usado, a esto se aumenta un 30% ya que el fluido presente en el recipiente estará sometido a movimiento rotacional por medio de los agitadores.

Se define utilizar un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco de 3 aspas, ya que este tipo de impulsor trabaja principalmente para fluidos de baja viscosidad y para velocidades que pueden ser medias o altas.

Para la selección del motor, este debe cumplir con las condiciones propias de un elemento mecánico expuesto a la intemperie. Por otra parte el motor seleccionado debe trabajar a velocidades medias con el fin de reducir el consumo de potencia.

Como velocidad media para un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco las velocidades pueden ser del orden de las 100 a las 300 rpm.

Como datos tenemos:

$$V_{\text{Cilindro}_2} = 10 \text{ [lt]} = 10\,000\,000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$D_{\text{Cilindro}_2} = 203,99 \text{ [mm]}$$

$$H_{\text{Cilindro}_2} = 305,98 \text{ [mm]}$$

4.1.2.2.1 Distancia fondo a base del impulsor

$$E_2 = 0,33(D_{\text{Cilindro}_2})$$

$$E_2 = 0,33(203,99 \text{ mm}) = 67,32 \text{ [mm]}$$

4.1.2.2.2 Diámetro del impulsor

$$Da_2 = 0,33(D_{\text{Cilindro}_2})$$

$$Da_2 = 0,33(203,99 \text{ mm}) = 67,32 \text{ [mm]}$$

4.1.2.2.3 Largo de la paleta

$$Lp_2 = 0,25(Da_2)$$

$$Lp_2 = 0,25(67,32 \text{ mm}) = 16,83 \text{ [mm]}$$

4.1.2.2.4 Ancho de la paleta

$$W_2 = 0,2(Da_2)$$

$$W_2 = 0,2(67,32 \text{ mm}) = 13,46 \text{ [mm]}$$

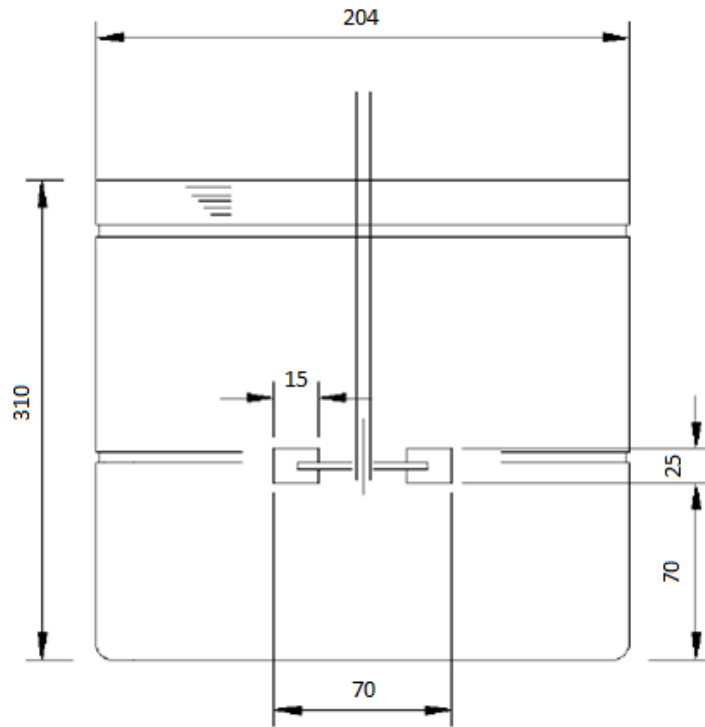


Figura 6-4: Diseño del agitador para el segundo recipiente (aceite usado de cocina)

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

4.1.2.2.5 Cálculo de potencia consumida

Para el cálculo de la potencia consumida se calcula en primera instancia el número de Reynolds.

$$Re = \frac{(N)(Da_2)^2(\rho_{Aceite\ 40^\circ C})}{\mu_{Aceite\ 40^\circ C}}$$

Como datos de entrada se tiene:

$$\rho_{Aceite\ 40^\circ C} = 907 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\mu_{Aceite\ 40^\circ C} = 0,00375 \text{ [Pa. s]}$$

$$\nu_{Aceite\ 40^\circ C} = 17,64 \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$N = 100 \text{ [rpm]} = 1,67 \text{ [rps]}$$

$$Da_2 = 67,32 \text{ [mm]} = 0,067 \text{ [m]}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación de Reynolds:

$$Re = \frac{(1,67 \text{ rps}) * (0,067 \text{ m})^2 * \left(907 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}{(0,00375 \text{ Pa. s})}$$

$$Re = 1\,826,69 \text{ [Adimensional]}$$

Se determina el número de potencia (Np) mediante la interpolación con el número de Reynolds calculado, para un impulsor de turbina de 3 aspas.

$$P_2 = Np[(N)^3(Da_2)^5(\rho_{\text{Aceite } 40^\circ\text{C}})]$$

$$P_2 = 4 \left[(1,67 \text{ rps})^3 * (0,067 \text{ m})^5 * \left(907 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) \right] = 0,0174 \text{ [W]}$$

4.1.2.3 Cálculo del diseño del agitador para el tercer recipiente (metóxido + aceite usado de cocina)

La necesidad es lograr una agitación rápida y una mezcla homogénea del aceite limpio y el metóxido. El objetivo es disminuir la temperatura de la mezcla ya que deseamos acortar tiempos en el proceso de obtención de biodiésel, por eso instalamos un ventilador que cumpla este objetivo de manera rápida y eficiente, en donde la mezcla tiene 40 °C, lo cual se debe llegar a una temperatura aproximada de 15 °C.

Se desarrolla una propuesta de diseño del agitador en función de los siguientes datos indicados en la Tabla 4-4 y la Figura 7-4 con las dimensiones generales del recipiente.

Tabla 4-4: Datos de entrada para diseñar un agitador de fluidos

FLUIDO A AGITAR	Solución de aceite limpio + metóxido
Densidad fluido	885,96 kg/m ³
Viscosidad cinemática	9,055 m ² /s
Presión de operación	1,07 kg/cm ²
Temperatura de trabajo	40 a 15 °C
Fondo	Elipsoidal
Volumen de llenado	15 litros

Fuente: (NARANJO, 2007)

Para el recipiente de la mezcla, se parte de los datos obtenidos en los recipientes anteriores, ya que irán inmersos el aceite limpio y el metóxido. Por tanto el objetivo es obtener 5 litros de biodiesel, así que se debe diseñar un recipiente para 15 litros de mezcla, a esto se aumenta un 30% ya que el fluido presente en el recipiente está sometido a movimiento rotacional por medio de los agitadores.

Se define utilizar un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco de 3 aspas, ya que este tipo de impulsor trabaja principalmente para fluidos de baja viscosidad y para velocidades que pueden ser medias o altas.

Para la selección del motor, este debe cumplir con las condiciones propias de un elemento mecánico expuesto a la intemperie. Por otra parte el motor seleccionado debe trabajar a velocidades medias con el fin de reducir el consumo de potencia.

Como velocidad media para un impulsor de turbina tipo hojas planas inclinadas y disco las velocidades pueden ser del orden de las 100 a las 300 rpm.

Como datos tenemos:

$$V_{\text{Cilindro}_3} = 15 [\text{lt}] = 15\,000\,000 [\text{mm}^3]$$

$$D_{\text{Cilindro}_3} = 233,51 [\text{mm}]$$

$$H_{\text{Cilindro}_3} = 350,26 [\text{mm}]$$

4.1.2.3.1 Distancia fondo a base del impulsor

$$E_3 = 0,33(D_{\text{Cilindro}_3})$$

$$E_3 = 0,33(233,51 \text{ mm}) = 77,06 [\text{mm}]$$

4.1.2.3.2 Diámetro del impulsor

$$Da_3 = 0,33(D_{\text{Cilindro}_3})$$

$$Da_3 = 0,33(233,51 \text{ mm}) = 77,06 [\text{mm}]$$

4.1.2.3.3 Largo de la paleta

$$L_{p_3} = 0,25(Da_3)$$
$$L_{p_3} = 0,25(77,06 \text{ mm}) = 19,26 \text{ [mm]}$$

4.1.2.3.4 Ancho de la paleta

$$W_3 = 0,2(Da_3)$$
$$W_3 = 0,2(77,06 \text{ mm}) = 15,41 \text{ [mm]}$$

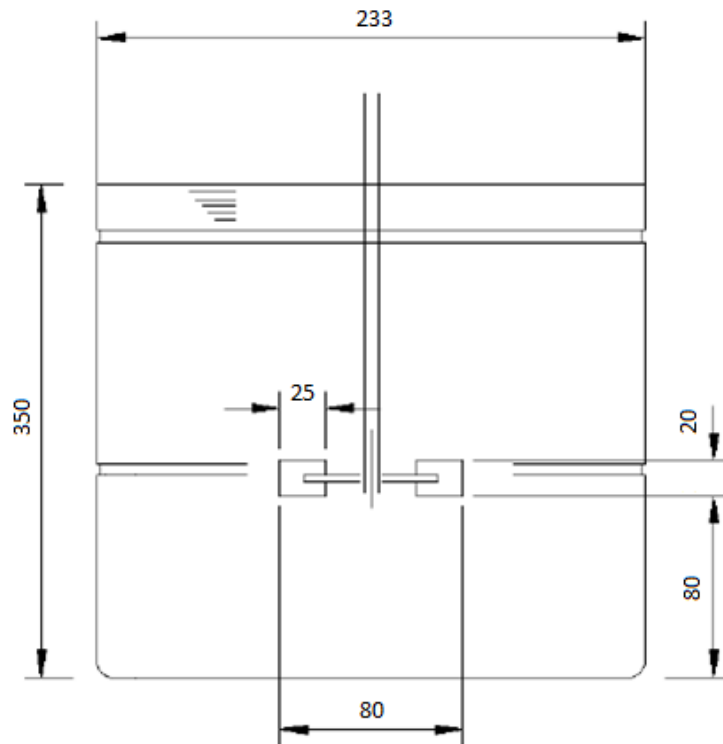


Figura 7-4: Diseño del agitador para el tercer recipiente (metóxido + aceite limpio)

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

4.1.2.3.5 Cálculo de potencia consumida

Para el cálculo de la potencia consumida se calcula en primera instancia el número de Reynolds.

$$Re = \frac{(N)(Da_3)^2(\rho_{Mezcla})}{\mu_{Mezcla}}$$

Como datos de entrada tenemos:

$$\rho_{Mezcla} = 885,96 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\mu_{Mezcla} = 0,00217 [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

$$\nu_{Mezcla} = 9,06 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$N = 100 [\text{rpm}] = 1,67 [\text{rps}]$$

$$Da_3 = 77,06 [\text{mm}] = 0,077 [\text{m}]$$

Reemplazando estos valores en la ecuación de Reynolds:

$$Re = \frac{(1,67 \text{ rps}) * (0,077 \text{ m})^2 * \left(885,96 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)}{(0,00217 \text{ Pa} \cdot \text{s})}$$

$$Re = 4\,040,52 [\text{Adimensional}]$$

Se determina el número de potencia (N_p) mediante la interpolación con el número de Reynolds calculado, para un impulsor de turbina de 3 aspas.

$$P_3 = N_p[(N)^3(Da_3)^5(\rho_{Mezcla})]$$

$$P_3 = 4 \left[(1,67 \text{ rps})^3 * (0,077 \text{ m})^5 * \left(885,96 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \right] = 0,0446 [\text{W}]$$

Como el micro motor reductor tiene un torque de $T = 3,7 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$, y una velocidad angular de $W = 60 \text{ rpm}$, estos datos reemplazando en la ecuación 22, se obtiene la potencia del motor a usar en los tres recipientes de $P = 2,28 \text{ W}$. Se selecciona este motor, puesto que se adecua a nuestras necesidades del diseño, comparando la potencia del impulsor más crítico que en este caso es del tercer recipiente con la potencia del micro motor reductor.

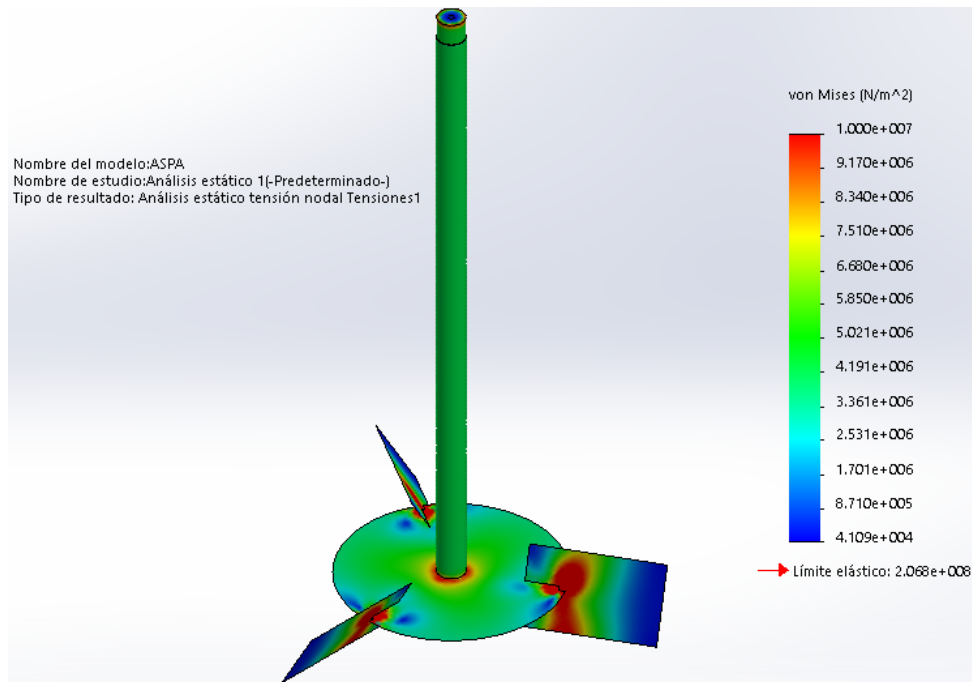


Figura 8-4: Diseño SolidWorks – Análisis estático del agitador

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Luego del diseño del agitador se establece un análisis dinámico en el software SolidWorks, aplicando el teorema de Von Mises a cada nodo del agitador. Siendo las regiones más críticas las comprendidas en las uniones de eje, disco y aspas mediante soldadura. Teniendo una tensión máxima en estos puntos de 10 MPa, como se indica en la Figura 8-4.

4.1.3 *Diseño y cálculos del eje para los agitadores*

4.1.3.1 *Cálculo del diseño del eje para el tercer recipiente (metóxido + aceite limpio)*

Como dato se tiene el torque y velocidad angular que tiene el motor paso a paso:

$$T = 3,7 [Kg.cm] = 51 [oz.in] = 0,3628 [N.m] = 362,8 [N.mm]$$

$$W = 60 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s} = 6,28 [rad/s]$$

- Potencia:

$$P = (T)(W) \quad (22)$$

Dónde:

T = torque del motor paso a paso [N. mm]

W = velocidad angular del motor paso a paso $[rad/s]$

P = potencia del motor paso a paso [Watt]

$$P = (0.3628 \text{ N. m})(6,28 \text{ rad/s})$$

$$P = 2,28 \text{ [W]}$$

- Presión:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (23)$$

Dónde:

P = presión del fluido hacia el agitador [Pa]

ρ = densidad del fluido $[Kg/m^3]$

g = aceleración de la gravedad $[m/s^2]$

h = altura de presión del fluido [m]

L = largo del aspa [m]

l = espesor del aspa [m]

Dimensiones de la paleta:

$h = 30 \text{ [mm]} = 0,03 \text{ [m]}$

$L = 60 \text{ [mm]}$

$l = 3 \text{ [mm]}$

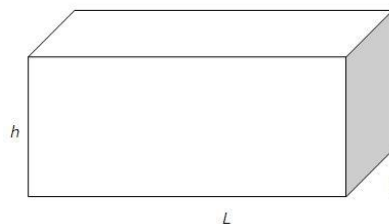


Figura 9-4: Dimensión del aspa

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

$$P = \left(985.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (0.03\text{m})$$

$$P = 290,17 [\text{Pa}]$$

- Fuerza aplicada por el fluido en cada uno de las aspas:

$$F = \int P \cdot dA \quad (24)$$

Dónde:

dA = diferencial del área de contacto entre fluido y el aspa $[\text{m}^2]$

F = fuerza $[\text{N}]$

En donde los 45° , es la inclinación de las aspas, respecto al agitador, por eso se toma en cuenta la componente de la fuerza, la misma que es perpendicular al área de contacto.

$$F = (P)(A)(\text{Sen } 45^\circ) = (P)(h)(l)(\text{Sen } 45^\circ)$$

$$F = (290,17 \text{ Pa})(0,03 \text{ m})(0,06 \text{ m})(\text{Sen } 45^\circ)$$

$$F = 0,37 [\text{N}]$$

- Momento aplicado en las tres aspas:

$$M = (F)(r) \quad (25)$$

Dónde:

M = momento aplicado en la base del agitador $[\text{N} \cdot \text{mm}]$

$$r = 90 [\text{mm}]$$

$$M = (0,37 \text{ N}) * (0.09 \text{ m})$$

$$M = 0,033 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

$$\text{Momento en las tres aspas: } M = 0,09971 [\text{N} \cdot \text{m}] = 99,71 [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

- Cálculo de esfuerzos:

- Torsión:

$$\tau = \frac{16 (T)}{\pi (d)^3} \quad (26)$$

Dónde:

τ = torsor máximo	[MPa]
T = torque	[N. mm]
m = momento flector	[N. mm]
σ = esfuerzo máximo	[MPa]

$$\tau = \frac{16(362,8 \text{ N. mm})}{\pi \cdot d^3} = \frac{1848,5867}{d^3}$$

- Flexión:

$$m = \sqrt{(362,8 \text{ N. mm})^2 + (99,71 \text{ N. mm})^2} = 376,42 \text{ [N. mm]}$$

$$\sigma = \frac{32 (m)}{\pi (d)^3} \quad (27)$$

$$\sigma = \frac{32 (376,42 \text{ N. mm})}{\pi \cdot d^3} = \frac{3834,16}{d^3}$$

• Fluctuación de esfuerzos:

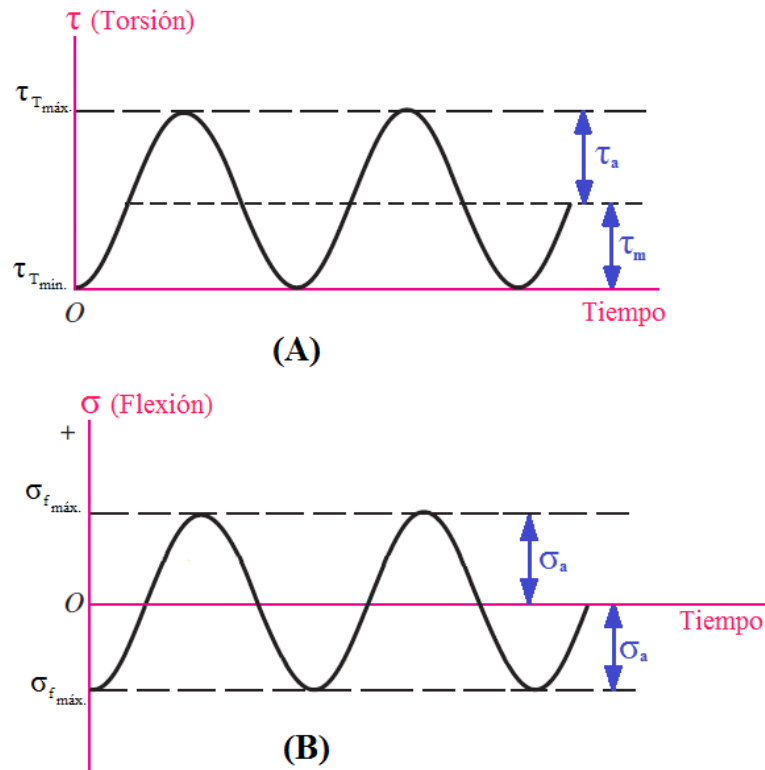


Figura 10-4: Diagrama de esfuerzos.

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 293)

- Torsor amplitud.

$$\tau_a = \frac{\tau_{m\acute{a}x} - \tau_{m\acute{i}n}}{2} \quad (28)$$

Dónde:

τ_a = torsor amplitud [MPa]

$\tau_{m\acute{a}x}$ = torsor máximo [MPa]

$\tau_{m\acute{i}n}$ = torsor mínimo [MPa]

$$\tau_a = \frac{\frac{1848,5867}{d^3} - 0}{2} = \frac{924,29}{d^3}$$

- Torsor medio.

$$\tau_m = \frac{\tau_{m\acute{a}x} + \tau_{m\acute{i}n}}{2} \quad (29)$$

Dónde:

τ_m = torsor medio [MPa]

$$\tau_m = \tau_a = \frac{924,29}{d^3}$$

- Esfuerzo amplitud.

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \right| \quad (30)$$

Dónde:

σ_a = esfuerzo amplitud [MPa]

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = esfuerzo máximo [MPa]

$\sigma_{m\acute{i}n}$ = esfuerzo mínimo [MPa]

$$\sigma_a = \left| \frac{\frac{3834,16}{d^3} - 0}{2} \right| = \frac{1917,08}{d^3}$$

- Esfuerzo medio.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad (31)$$

Dónde:

σ_m = esfuerzo medio [MPa]

$$\sigma_m = 0$$

- Los valores de esfuerzo para el Acero Inoxidable AISI 304 son:

$$S_y = 230 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ut} = 540 \text{ [MPa]}$$

Dónde:

S_{ut} = resistencia a la rotura del Acero Inoxidable AISI 304 [MPa]

S_y = resistencia a la fluencia del Acero Inoxidable AISI 304 [MPa]

S_{sy} = esfuerzo cortante a la fluencia del Acero Inoxidable AISI 304 [MPa]

S_{se}' = límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria [MPa]

S_{se} = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso. [MPa]

- Ecuación de Marín

$$S_{sy} = 0,5 S_y \quad (32)$$

$$S_{sy} = 0,5 (230 \text{ MPa}) = 115 \text{ [MPa]}$$

$$S_{se}' = 0,28 S_y \quad (33)$$

$$S_{se}' = 0,28 (230 \text{ MPa}) = 64,4 \text{ [MPa]}$$

➤ Análisis a torsión:

- $K_{total} = 0,6$ Asumo (exista o no exista hay distorsión en la sección)

- Ecuación de Marín

$$S_{se} = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_g \cdot S_{se}' = K_{total} \cdot S_{se}' \quad (34)$$

$$S_{se} = (0,6) * (64,4 \text{ MPa}) = 38,64 \text{ [MPa]}$$

- $n = 2$ Asumo

$$\tau_a = \frac{S_{se}}{n} \quad (35)$$

Dónde:

d = diámetro del eje

[mm]

n = factor de seguridad

[Adimensional]

$$\frac{924,29}{d^3} = \frac{38,64}{2}$$

$$d = 3,63 [mm]$$

$$\tau_a + \tau_m = \frac{S_{sy}}{n} \quad (36)$$

$$\frac{924,29}{d^3} + \frac{924,29}{d^3} = \frac{115}{2}$$

$$d = 3,18 [mm]$$

- Recalcular:

$$K_a = a(S_{ut})^b = (4,51) * (230)^{-0,265} = 1,0673 [\text{Adimensional}]$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 11-4: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 280)

$$K_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} = 1,24(d)^{-0,107} = 1,24 * (3,18)^{-0,107} = 1,095 [\text{Adimensional}]$$

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Figura 12-4: Factores de Tamaño

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 280)

$$K_c = 0,814 \text{ [Adimensional]}$$

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_α
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 13-4: Factores de confiabilidad del límite de resistencia a fatiga

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 285)

$$K_d = 1,01 \text{ [Adimensional]}$$

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Figura 14-4: Efecto de temperatura en la resistencia a la tensión del acero

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 283)

$$K_e = 1 \text{ [Adimensional]}$$

$$k_e = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Figura 15-4: Factores de carga

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 282)

$$K_g = 1 \text{ [Adimensional]}$$

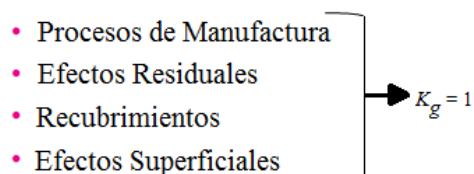


Figura 16-4: Factores de efectos varios

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 286)

$$K_{total} = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_g) = 0,9615 \text{ [Adimensional]}$$

- Ecuación de Marín

$$S_{se} = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_g)(S_{se}') = (K_{total})(S_{se}')$$

Dónde:

K_a = Factor de modificación de la condición superficial [Adimensional]

K_b = Factor de modificación del tamaño [Adimensional]

K_c = Factor de modificación de la carga [Adimensional]

K_d = Factor de modificación de la temperatura [Adimensional]

K_e = Factor de confiabilidad [Adimensional]

K_g = Factor de modificación de efectos varios [Adimensional]

$$S_{se} = 0,9615(64,4 \text{ MPa}) = 61,92 \text{ [MPa]}$$

- $n = 2$ Asumo

$$\tau_a = \frac{S_{se}}{n}$$

Dónde:

d = diámetro del eje [mm]

n = factor de seguridad [Adimensional]

$$\frac{924,29}{d^3} = \frac{61,92 \text{ MPa}}{2}$$

$$d = 3,1022 \text{ [mm]}$$

$$\tau_a + \tau_m = \frac{S_{sy}}{n}$$

$$\frac{924,29}{d^3} + \frac{924,29}{d^3} = \frac{115}{2}$$

$$d = 3,18 \text{ [mm]}$$

➤ Análisis a flexión:

$$S_{e'} = 0,5 (S_y)$$

$$S_{e'} = 0,5 (230 \text{ MPa}) = 115 [\text{MPa}]$$

- $K_{total} = 0,3$ Asumo (Exista o no exista hay distorsión en la sección)

$$S_e = (K_{total})(S_{e'})$$

$$S_e = (0,3)(115 \text{ MPa}) = 34,5 [\text{MPa}]$$

- $n = 2$ Asumo
Según Soderberg:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (37)$$

$$\frac{\frac{1917,08}{d^3}}{34,5} + 0 = \frac{1}{2}$$

$$d = 4,81 [\text{mm}]$$

- Recalcular:

$$K_a = a(S_{se})^b = (4,51) * (38,64)^{-0,265} = 1,71 [\text{Adimensional}]$$

$$K_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} = 1,24(d)^{-0,107} = 1,24 * (4,81)^{-0,107} = 1,05 [\text{Adimensional}]$$

$$K_c = 0,814 [\text{Adimensional}]$$

$$K_d = 1,01 [\text{Adimensional}]$$

$$K_e = 1 [\text{Adimensional}]$$

$$K_g = 1 [\text{Adimensional}]$$

$$K_{total} = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_g) = 1,47 [\text{Adimensional}]$$

- Ecuación de Marín

$$S_e = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_g)(S_{e'}) = (K_{total})(S_{e'}) \quad (38)$$

$$S_e = 1,47 (115 \text{ MPa}) = 169,71 [\text{MPa}]$$

- $n = 2$ Asumo
Según Soderberg:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (39)$$

$$\frac{\frac{1917,08}{d^3}}{169,71} + 0 = \frac{1}{2}$$

$$d = 2,83 [mm]$$

- Esfuerzos combinados:

$$S_e = 0,6 (S_e') = 0,6(115 MPa) = 69 [MPa]$$

$$S_e' = 0,5(S_y) = 0,5(230 MPa) = 115 [MPa]$$

Según Von Mises:

$$\sigma_{eq.m} = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3(\tau_m)^2} \quad (40)$$

$$\sigma_{eq.m} = \sqrt{0 + 3\left(\frac{924,29}{d^3}\right)^2} = \frac{1600,9172}{d^3}$$

- Asumo:

$$K_{F_f} = 1,5 [\text{Adimensional}]$$

$$K_{F_T} = 1,5 [\text{Adimensional}]$$

$$\sigma_{eq.a} = \sqrt{\left[(K_{F_f})(\sigma_{a_f})\right]^2 + 3\left[(K_{F_T})(\tau_{a_T})\right]^2} \quad (41)$$

Dónde:

$$\sigma_{eq.m} = \text{esfuerzo equivalente medio} \quad [MPa]$$

$$\sigma_{eq.a} = \text{esfuerzo equivalente amplitud} \quad [MPa]$$

$$\sigma_{a_f} = \text{esfuerzo amplitud de flexión} \quad [MPa]$$

$$\tau_{a_T} = \text{torsor amplitud de torsión} \quad [MPa]$$

$$\sigma_{eq.a} = \sqrt{\left[(1,5) \left(\frac{1917,08}{d^3} \right) \right]^2 + 3 \left[(1,5) \left(\frac{924,29}{d^3} \right) \right]^2} = \frac{3746,43783}{d^3}$$

Según Soderberg:

$$\frac{\sigma_{eq.a}}{S_e} + \frac{\sigma_{eq.m}}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (42)$$

$n = 2$ Asumo

$$\frac{\frac{3746,43783}{d^3}}{69} + \frac{\frac{1600,9172}{d^3}}{540} = \frac{1}{2}$$

$$d = 4,856 \text{ [mm]}$$

Luego de realizar el diseño del eje del tercer recipiente, ya que es el más crítico en base al diseño, el resultado del diámetro $d = 4,856 \text{ mm}$; por cuestión de seguridad se recomienda construir los ejes con un diámetro de $t = \frac{3}{8} \text{ plg} = 9,5 \text{ mm}$; dónde se utiliza un eje macizo de Acero Inoxidable AISI 304 para disminuir la corrosión presente por los reactivos a manipular. Y evitar el pandeo del eje, ya que se encuentra soldado en la parte superior del agitador.

Mediante el software ANSYS se verifica la resistencia del eje. En el nodo A, se ubica una articulación fija que permite la rotación en el plano x-z, se toma en cuenta como un sólido macizo al eje soldado con el agitador, de Acero Inoxidable AISI 304, teniendo una masa total de 511 gramos ubicado en el nodo C. El motor paso a paso tiene un torque positivo de 0,3628 N.m. en el plano x-z. En donde se calcula la fuerza de oposición del fluido respecto a las aspas del agitador, provocando un torque negativo de 0,09971 N.m. como se plantea en la ecuación 24. Verificando que el diseño del eje soporta dichas cargas mencionadas, como se muestran en la Figura 17-4.

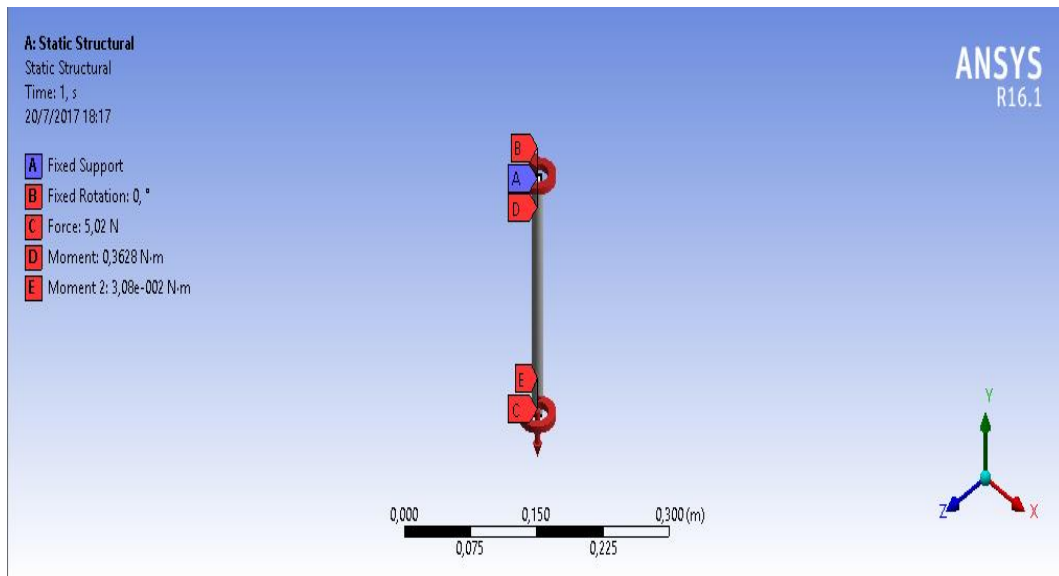


Figura 17-4: Asignación de cargas y restricciones en el software ANSYS

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

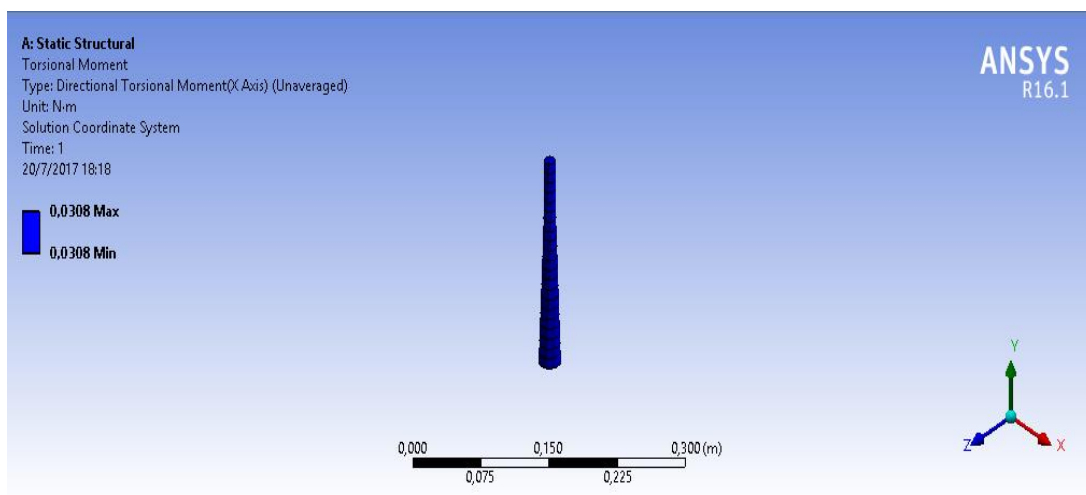


Figura 18-4: Momento torsor en el software ANSYS

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

En la Figura 18-4, se puede observar que el momento torsor máximo se produce en la parte inferior del agitador, ya que en él se concentran el momento brindado por el motor paso a paso y la oposición de las aspas respecto al fluido.

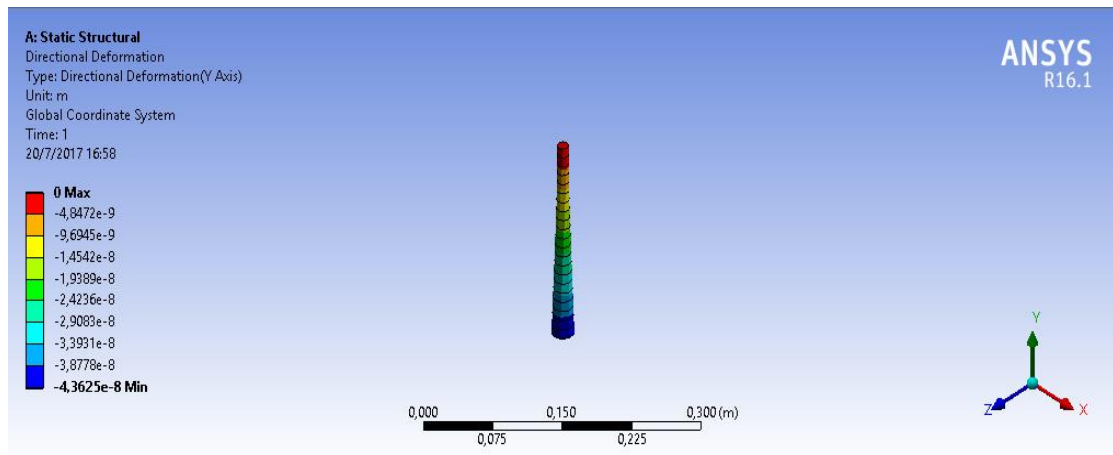


Figura 19-4: Reacción debido al peso en el software ANSYS

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

En la Figura 19-4, se puede verificar que en la parte inferior del agitador existe una deformación de $4,36 \times 10^{-5}$ mm, ocasionada por el peso del elemento es decir el eje, disco y aspas.

CAPÍTULO V

5 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE PARA DEL PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

La construcción y el posterior montaje del prototipo de una máquina para obtención de biodiésel muestran el resultado de la etapa del diseño, donde se calculan los parámetros fundamentales y se seleccionan los materiales que constituyen la máquina, siguiendo una serie de procesos realizados para cada elemento que conforma los diferentes sistemas de los cuales son:

- Sistema estructural
- Sistema de dosificación
- Sistema de agitación
- Sistema de evacuación
- Sistema de almacenamiento

5.1 Máquinas y Herramientas

Las máquinas y herramientas utilizadas en el proceso de construcción para la máquina de obtención de biodiésel son los siguientes:

- Soldadora eléctrica.
- Tronzadora.
- Cuchilla de torno.
- Taladro de mano.
- Machuelos.
- Taladro de banco.
- Remachadora.
- Pulidora.

- Cautín.
- Dobladora hidráulica.
- Juego de llaves hexagonales.
- Cortadora hidráulica.
- Brocas.
- Discos de pulir.
- Calibrador pie de rey.
- Torno.
- Torno CNC.
- Destornilladores.
- Flexómetro.
- Moladora.
- Escuadra.
- Limatón.

5.2 Materiales para la construcción

Los materiales para la construcción del prototipo de la máquina para la obtención del biodiésel se detallan a continuación en la Tabla 1-5.

Tabla 1-5: Lista de materiales seleccionados

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Plancha Acero Inoxidable AISI 304 (e=2 mm; 1220x2440mm)
4	Tubos cuadrados Galvanizados (1/1/2"x1/1/2"x2mm) 6m de longitud
1	Motor paso a paso 12 V unipolar 2 fases Tipo S330300
2	Micro motor reductor metálico 100:1 HPCB 12v (Pololu 3041)
6	Neplos 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
2	Codos 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
2	Ferrules 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
4	Ferrulados 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
2	Empaques para ferrules 3/4"
1	Plancha antideslizante Aluminio (e=1,5 mm; 1220x2440mm)
2	Electroválvulas solenoide 3/4" uso general 110 VAC
1	Metro de tubo redondo 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
12	Tornillos Galvanizados 5/16"
9	Tornillos auto perforantes Galvanizados 5/16"
2	Libras de electrodo E308L
2	Acoples para motor reductor 100:1
1	Ventilador de CASE ANERA 80 mm
1	Niquelinas (resistencia térmica)
3	Prisioneros 5/16" Acero Inoxidable AISI 304
1	Codo 3/4" Galvanizado
1	Neplo corrido 3/4" Galvanizado
1	Platina (e=3 mm; 500x500mm)
4	Llaves de globo 3/4" Galvanizado
1	Transformador de 220 V a 120 V EVL en dos sentidos
2	Arduino UNO
1	Regulador de voltaje 12V VDC
1	Regulador de voltaje 5V VDC
1	Módulo sensor de temperatura MAX 6675
1	Caja y botonera electrónica Beaucoup metálica
1	Breaker EBASEE 110V
2	Módulos de relés para Arduino PIC
3	Ejes Sólido 3/8" Acero Inoxidable AISI 304

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.3 Proceso de construcción y montaje

A continuación se detalla los pasos para la construcción de cada uno de los elementos que conforman el prototipo de la máquina para la obtención del biodiésel, las medidas de los elementos construidos se los representa en los planos.

5.3.1 Elementos de construcción

La máquina se divide en cinco sistemas los cuales son:

- Sistema estructural
- Sistema de dosificación
- Sistema de agitación
- Sistema de evacuación
- Sistema de almacenamiento

A continuación en la Tabla. 2-5, se presenta los elementos que forman el prototipo de la máquina para la obtención del biodiésel, detallado el tipo de material del que está elaborado y la cantidad utilizada para la construcción de dichos elementos.

Tabla 2-5: Elementos de construcción


Sistema	Elemento	Cantidad	Material
Estructural	Base de la estructura	4	Tubos cuadrados Galvanizados (1/2"x1/2"x2mm) 6m de longitud
		9	Tornillos auto perforantes Galvanizados 5/16"
		2	Libras de electrodo E308L
	Base del motor	1	Platina (e=3 mm; 500x500mm)
	Soporte para la manipulación de los reactivos por medio de los operadores	1	Plancha antideslizante Aluminio (e=1,5 mm; 1220x2440mm)
Dosificación	Recipientes de dosificación	3	Plancha Acero Inoxidable AISI 304 (e=2 mm; 1220x2440mm)
	Soporte para el embudo	1	Plancha Acero Inoxidable AISI 304 (e=2 mm; 1220x2440mm)
	Motor	2	Micro motor reductor metálico 100:1 HPCB 12v (Pololu 3041)
		1	Motor paso a paso 12 V unipolar 2 fases Tipo S330300
Agitación	Soporte para los motores	3	Plancha Acero Inoxidable AISI 304 (e=2 mm; 1220x2440mm)
		12	Tornillos Galvanizados 5/16"
		2	Acoples para motor reductor 100:1
	Ejes	3	Ejes sólido 3/8" Acero Inoxidable AISI 304
		3	Prisioneros 5/16" Acero Inoxidable AISI 304
	Agitador	3	Platina (e=3 mm; 500x500mm)
		1	Niquelinas (resistencia térmica)
	Automatización	1	Transformador de 220 V a 120 V EVL en dos sentidos
		2	Arduino UNO
		1	Regulador de voltaje 12V VDC
		1	Regulador de voltaje 5V VDC
		1	Módulo sensor de temperatura MAX 6675
		1	Caja y botonera electrónica Beaucoup metálica
		1	Breaker EBASEE 110V
		2	Módulos de relés para Arduino PIC
Evacuación	Salida del fluido	3	Neplos 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
		2	Electroválvulas solenoide 3/4" uso general 110 VAC
		2	Ferrules 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
		4	Ferrulados 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
		2	Empaques para ferrules 3/4"
		2	Codos 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
		1	Metro de tubo redondo 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
	Purgas	3	Neplos 3/4" Acero Inoxidable AISI 304
		4	Llaves de globo 3/4" Galvanizado
		1	Codo 3/4" Galvanizado
		1	Neplo corrido 3/4" Galvanizado
Almacenamiento	Enfriamiento	1	Ventilador de CASE ANERA 80 mm

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.3.1.1 Operaciones de construcción para cada uno de los sistemas


A continuación, se presenta la Tabla. 3-5 un esquema con las operaciones realizadas en el proceso de construcción del prototipo de la máquina para la obtención del biodiésel, se detalla también el tiempo empleado en cada operación.

Tabla 3-5: Operaciones de construcción del sistema estructural

SISTEMA ESTRUCTURAL			
			
Elemento	Nº	Operación	Tiempo (h)
Base de la estructura	1	Toma de medidas y trazado	1
	2	Corte y rectificado	3
	3	Pre soldado	1
	4	Escuadrado	0,5
	5	Soldado	1,5
	6	Esmerilado	1
	7	Pulido	4
	8	Remachado	1
Base del motor	9	Toma de medida y trazado	1
	10	Corte	1,5
	11	Doblado	5
	12	Pre soldado	1
	13	Escuadrado	0,5
	14	Soldado	2
	15	Esmerilado	0,5
	16	Pulido	1
Soporte para la manipulación de los reactivos por medio de los operadores	17	Toma de medidas y trazado	1
	18	Corte	0,5
	19	Doblado	0,5
	20	Perforado	4
	21	Rectificado	1
	22	Pulido	1

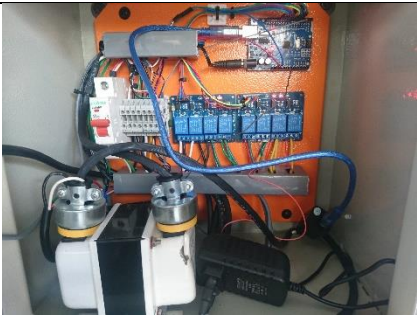
Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 4-5: Sistema de dosificación

SISTEMA DOSIFICACIÓN			
			
Elemento	Nº	Operación	Tiempo (h)
Recipientes de dosificación	23	Toma de medidas y trazado	2
	24	Corte	2,5
	25	Doblado	5,5
	26	Pre soldado	1,5
	27	Escuadrado	1
	28	Soldado	2
	29	Esmerilado	0,25
	30	Pulido	2
Soporte para el embudo	31	Toma de medidas y trazado	0,25
	32	Corte.	0,25
	33	Soldado	0,5
	34	Pulido	0,5
Motor	35	Acoplamiento	3


Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 5-5: Sistema de agitación

SISTEMA AGITACIÓN			
			
Elemento	Nº	Operación	Tiempo (h)
Soporte para los motores	36	Toma de medidas y trazado	0,5
	37	Corte y rectificado	1
	38	Doblado	2
	39	Escuadrado	0,5
	40	Esmerilado	0,25
	41	Pulido	1
	42	Taladrado	1
Ejes	43	Toma de medida y trazado	0,5
	44	Corte	0,5
	45	Refrentado	3
Agitador	46	Toma de medida y trazado	1
	47	Corte	2
	48	Pre soldado	0,5
	49	Escuadrado	0,25
	50	Soldado	3
	51	Esmerilado	0,25
	52	Pulido	1
Automatización	53	Toma de medidas	1
	54	Corte	2
	55	Ensamblado	5
	56	Perforado	0,25
	57	Soldado	3
	58	Programado	5


Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 6-5: Sistema de evacuación

SISTEMA EVACUACIÓN			
			
Elemento	Nº	Operación	Tiempo (h)
Salida del fluido	59	Medida y trazado	2
	60	Corte	1
	61	Pre soldado	0,5
	62	Escuadrado	0,5
	63	Soldado	3
	64	Esmerilado	0,5
	65	Pulido	2,5
Purgas	66	Toma de medidas	1,5
	67	Corte	1
	68	Pre soldado	0,5
	69	Escuadrado	0,5
	70	Soldado	2
	71	Esmerilado	1

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 7-5: Sistema de almacenamiento

SISTEMA ALMACENAMIENTO			
			
Elemento	Nº	Operación	Tiempo (h)
Enfriamiento	72	Ventilación	1
Total horas (h)			106,75
Total día (8 horas laborables)			14

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.3.2 Montaje del prototipo para obtención de biodiésel

A continuación se presenta mediante tablas, el tiempo empleado y simboliza el proceso de montaje a seguir en cada etapa de conformación del prototipo; esta etapa sirve para realizar el flujo grama de proceso.

Tabla 8-5: Montaje de elementos del sistema estructural

MONTAJE DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Traslado de elementos al taller	M1	1
Montaje de la estructura	M2	6
Montaje del piso antideslizante	M3	3
Instalación de remaches	M4	2
Ubicación de la placa base para los recipientes	M5	2
TOTAL		14

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 9-5: Montaje del sistema de dosificación

MONTAJE DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Montaje de los recipientes	M6	0.5
Ubicación del soporte para el embudo	M7	0.5
Ubicación de los motores	M8	0.5
Instalación pernos auto perforantes en los recipientes	M9	0.5
Ajuste de pernos	M10	0.5
Instalación de la resistencia eléctrica y sensor de temperatura	M11	1
TOTAL		3,5

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 10-5: Montaje de elementos del sistema de agitación

MONTAJE DEL SISTEMA DE AGITACIÓN		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Instalación de soporte para los motores	M12	3
Montaje del agitador con el motor	M13	2
Calibración de la velocidad angular de los agitadores	M14	2
Cableado eléctrico	M15	3
Programación en el Arduino	M16	5
TOTAL		15

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 11-5: Montaje de elementos del sistema de evacuación

MONTAJE DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Instalación de tuberías	M17	1,5
Conexión de los ferrules	M18	0,5
Ubicación de las electroválvulas	M19	0,5
Instalación de las llaves de globo en las purgas	M20	0,5
TOTAL		3

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 12-5: Montaje de elementos del sistema de almacenamiento

MONTAJE DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO		
Operación	Símbolo	Tiempo (h)
Instalación del ventilador	M21	0,5
TOTAL		0,5

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.3.2.1 Flujo grama de proceso para el montaje del prototipo para obtención de biodiésel

A continuación se presenta el diagrama de flujo utilizado en el proceso de montaje de los elementos constitutivos del prototipo de una máquina para obtención de biodiésel, de acuerdo a cada uno de los sistemas en los cuales se optimiza tiempos y recursos a continuación la nomenclatura utilizada para describir cada uno de los sistemas:

- A: Montaje del sistema estructural.
- B: Montaje del sistema de dosificación.
- C: Montaje del sistema de agitación.
- D: Montaje del sistema de evacuación.
- E: Montaje del sistema de almacenamiento.

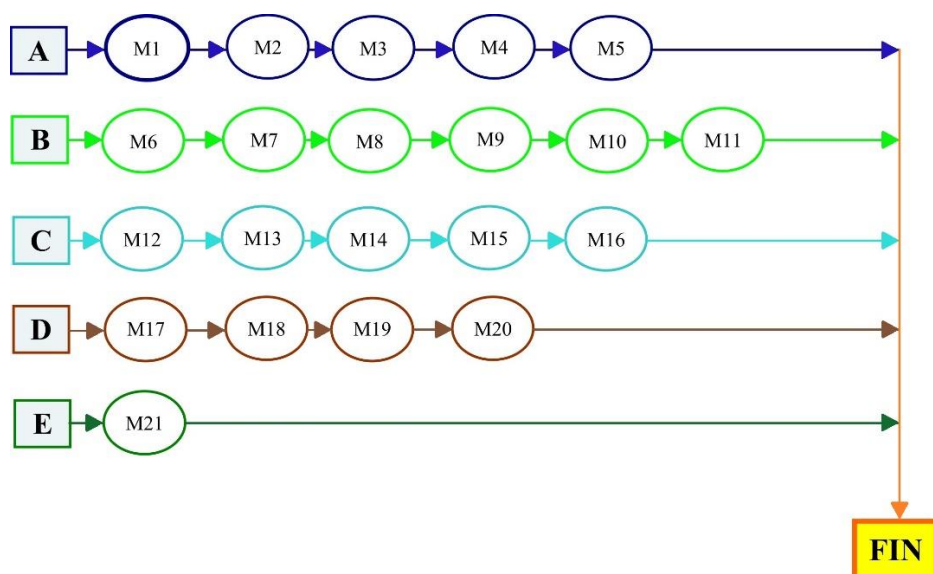


Figura 1-5: Diagrama de flujo de proceso

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.3.3 *Tiempo total de construcción*

En la Tabla 13-5 se define el tiempo utilizado para la construcción del prototipo de una máquina para obtención de biodiésel, empezando el proceso de producción desde la materia prima hasta el final del ensamblaje.

Tabla 13-5: Tiempos previstos para la construcción y montaje

TIEMPOS PREVISTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	
Tiempo de construcción (días).	14
Tiempo total de construcción (h).	106,75
Tiempo de montaje (h)	36
Tiempo total de construcción en días (8h laborables)	18

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.4 **Proceso de construcción de los elementos del prototipo para obtención de biodiésel**

5.4.1 *Construcción de la estructura del prototipo para obtención de biodiésel*

El sistema estructural está construido en tubo cuadrado galvanizado de 1/1/2"x1/1/2"x2mm, soldado con el electrodo E308L, y así la base del soporte hace formar la estructura de la máquina y escuadrado para obtener una simetría exacta como se muestra en la figura.



Figura 2-5: Estructura soldada

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Luego se realiza el piso antideslizante como se observa en la Figura 3-5, que sirve para que los operadores ubiquen los reactivos en los recipientes, observen la agitación del fluido, realizar mantenimiento a la máquina y permita purgar los desechos. El piso antideslizante se sujeta a los perfiles de la estructura mediante remaches como se muestra en la Figura 4-5.



Figura 3-5: Soporte para manipulación de los reactivos por los operadores

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017



Figura 4-5: Instalación del piso antideslizante con remaches

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

La base del motor se realiza mediante una plancha de Acero Inoxidable AISI 304, maquinado mediante una dobladora hidráulica, ubicando tres perforaciones para ubicar el motor y el acople del mismo. El cual está sujeto por medio de pernos 5/16” al recipiente de almacenamiento.



Figura 5-5: Base del motor

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.4.2 Construcción de los recipientes del prototipo para obtención de biodiésel

La construcción de los recipientes se realiza mediante una plancha de Acero Inoxidable AISI 304, para luego de la toma de medidas ser doblado mediante la dobladora hidráulica; se obtienen finalmente tres geometrías diferentes que componen el recipiente como se observa en la Figura 6-5, unidos mediante soldadura de arco eléctrico. Al tener manipulación directa con los reactivos los cuales ascienden a temperaturas altas, se toma en consideración la construcción del recipiente con fondo doble, para evitar quemaduras al operador.



Figura 6-5: Construcción de los recipientes

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Por último el proceso de pulido para limpiar las superficies donde se realiza el cordón de soldadura y mantener un acabado que mejore la presentación de la máquina como se observa en la Figura 7-5.



Figura 7-5: Pulido de los recipientes

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Para poder ubicar el embudo que nos permite al verter los reactivos para evitar salpicaduras al operador, se construye una base en donde se deposita el mismo, el cuál además sirve para que el operador coloque con las dos manos los reactivos en los recipientes como se muestra en la Figura 8-5.



Figura 8-5: Soporte para el embudo

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

El motor reductor 100:1 se ubica en la base del motor de manera vertical para que entregue la fuerza necesaria en los agitadores con una velocidad constante de 60 rpm. La cual está sujeta con un acople tipo C, que permite la sujeción del motor a la estructura como se muestra en la Figura 9-5.



Figura 9-5: Motorreductor

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.4.3 Construcción del sistema de agitación del prototipo para obtención de biodiésel

En los ejes se realiza un refrentado en un torno CNC, además se realiza un agujero en la parte superior del mismo, de tal manera que ingrese el eje del motor, y éste se sujete mediante un prisionero ubicado de manera horizontal al eje, como se muestra en la Figura 10-5.



Figura 10-5: Eje soldado al agitador

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Para la automatización del prototipo se utiliza cableado eléctrico para que sea comandado por el Arduino; el cual es una tarjeta que permite controlar por medio de la programación como el botón de encendido, apagado y emergencia, los tiempos en motores, encendido de la resistencia eléctrica, sensor de temperatura, apertura y cierre de electroválvulas; como se muestra en la Figura 11-5.

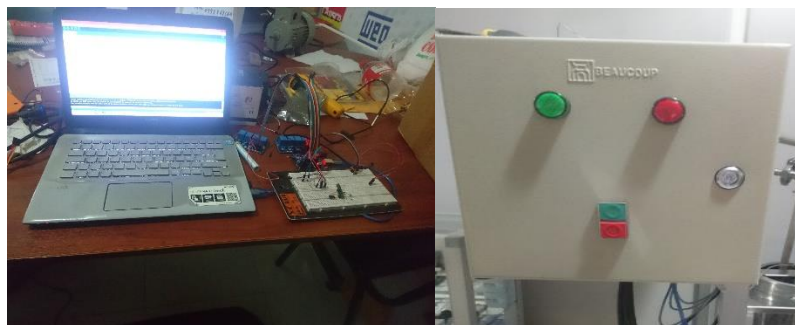


Figura 11-5: Automatización

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.4.4 Construcción del sistema de evacuación del prototipo para obtención de biodiésel

Para la evacuación del fluido del recipiente del metóxido se suelda el tubo redondos de 3/4" de Acero Inoxidable AISI 304 con el ferrul, de igual manera el codo de 3/4" se suelda con otro tubo del mismo material, para luego quedar unidos con los ferrulados y el empaque respectivo a través de un tornillo de sujeción. Luego se instala la electroválvula a continuación del neplo corrido 3/4" de Acero Inoxidable AISI 304.

El mismo proceso mencionado anteriormente se aplica para el recipiente del aceite usado de cocina; dicho proceso se muestra en la Figura 12-5.



Figura 12-5: Instalación para la evacuación del fluido

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Para una fácil evacuación de desechos en los respectivos recipientes del fluido, al realizar el mantenimiento preventivo se ubica purgas que cumplan con éste objetivo. Se suelda

un niple 3/4" de Acero Inoxidable AISI 304, a continuación se instala una llave de globo galvanizado de 3/4", como se muestra en la Figura 13-5.



Figura 13-5: Purgas

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

5.4.5 Construcción del sistema de almacenamiento del prototipo para obtención de biodiésel

Un ventilador de computadora de escritorio proporciona el enfriamiento mientras se produce la agitación en el recipiente de la mezcla (metóxido + aceite limpio), como se muestra en la Figura 14-5; con el fin de reducir la temperatura progresivamente, éste proceso está controlado por el Arduino hasta que culmine el tiempo de agitación en el recipiente, para luego finalizar este proceso apagando la máquina. Se mantiene un tiempo de reposo de 8 horas para la separación del biodiésel con la glicerina.

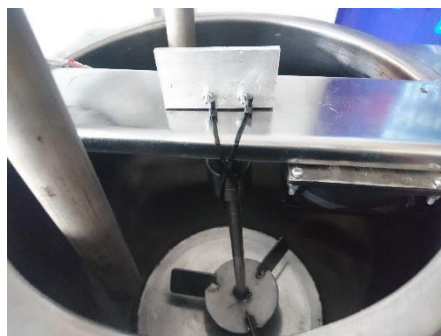


Figura 14-5: Instalación del ventilador para enfriamiento de la mezcla

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

CAPÍTULO VI

6 ANÁLISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO DEL PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

6.1 Análisis del punto de equilibrio del prototipo para obtención de biodiésel

Se formula con base en información que tiene la menor incertidumbre posible para medir las posibilidades de éxito o fracaso de un proyecto de inversión.

6.1.1 Costos fijos

Se asocian directamente con la construcción de la máquina ya sea mano de obra, materia prima, utilización de equipos, software, como principales factores directos en la construcción del prototipo de una máquina para obtención de biodiésel.

En la Tabla 1-6, se describe el tipo, cantidad y precio de los materiales usados en la construcción de la máquina.

Tabla 1-6: Costos de mano de obra

DESCRIPCIÓN	COSTO/HORA (USD)	CANTIDAD (H)	TOTAL (USD)
Electricista	3,5	28	98
Soldador	4,5	22	99
Mecánico general	3	80	240
Ayudante	2	80	160
SUB TOTAL			597

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 2-6: Costos de material e insumos

MATERIAL	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)
Tubos cuadrados Galvanizados (1/1/2"x1/1/2"x2mm) 6m de longitud	m	24,065	4	96,26
Libras de electrodo E308L	U	0,51	68	34,68
Platina (e=3 mm; 500x500mm)	m²	30	1	30
Plancha antideslizante Aluminio (e=1,5 mm; 1220x2440mm)	m²	72,02	1	72,02
Plancha Acero Inoxidable AISI 304 (e=2 mm; 1220x2440mm)	m²	180,56	1	180,56
Micro motor reductor metálico 100:1 HPCB 12v (Pololu 3041)	U	25	2	50
Motor paso a paso 12 V unipolar 2 fases Tipo S330300	U	22	1	22
Acoples para motor reductor 100:1	U	7,5	2	15
Ejes sólido 1/2" Acero Inoxidable AISI 304	m	17	3	51
Prisioneros 5/16" Acero Inoxidable AISI 304	U	0,4	10	4
Niquelina (resistencia térmica)	U	35	1	35
Transformador de 220 V a 120 V EVL en dos sentidos	V	120	1	120
Arduino UNO	U	16	2	32
Módulo sensor de temperatura MAX 6675	T	22	1	22
Caja y botonera electrónica beaucoup metálica	U	18	1	18
Módulos de Relés para Arduino PIC	U	30	2	60
Neplos 3/4" Acero Inoxidable AISI 304	U	7	6	42
Electroválvulas solenoide 3/4" uso general 110 VAC	U	148,5	2	297
Ferrulados 3/4" Acero Inoxidable AISI 304	U	28,5	4	114
Codos 3/4" Acero Inoxidable AISI 304	U	20	2	40
Llaves de globo 3/4" Galvanizado	U	8	4	32
Codo 3/4" Galvanizado	U	0,5	1	0,5
Cableado eléctrico	m	200	1	200
Neplo corrido 3/4" Galvanizado	U	1,5	1	1,5
Ventilador de CASE ANERA 80 mm	U	8	1	8
Litro de metanol 90%	lt	2,17	12	26,04
Litro de aceite usado de cocina	lt	0,1	30	3
Sosa cáustica	Kg	90	1	90
SUBTOTAL				1783,42

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 3-6: Costos de maquinaria y equipos

DESCRIPCIÓN	COSTO/HORA (USD)	HORAS-USO EQUIPO	TOTAL (USD)
Soldadora eléctrica	4,25	22	93,5
Dobladora hidráulica	5	5	25
Prensa de banco	1	2	2
Taladro de pedestal	1,5	2	3
Amoladora	1,5	5	7,5
Pulidora	1,5	3	4,5
Esmeril	1	5	5
Torno CNC	10	3	30
Limatón	0,5	2	1
Cautín	0,5	3	1,5
Remachadora	0,5	1	0,5
SUB TOTAL			173,5

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 4-6: Costos fijos totales

DESCRIPCIÓN	COSTOS (USD)
Costos de materiales e insumos	1783,42
Mano de obra	597
Máquinas y herramientas	173,5
Transporte	25
SUB TOTAL	2578,92

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

6.1.2 Costos variables

Son aquellos que se modifican en función del volumen de producción a mayor producción, mayores costos variables, o sea es el costo de la adquisición de materia prima para la producción de biodiésel.

Tabla 5-6: Costos de producción mensual para 48 lt biodiésel

DESCRIPCIÓN	Numero de ensayos	Cantidad	Costo por cada ensayo en litros (USD)	COSTOS TOTALES (USD)
Aceite usado de cocina	4	12 lt	0	0
Sosa cáustica	4	72 gr	5,76	23,04
Metanol	4	2,4 lt	5,20	20,80
SUB TOTAL			10,96	43,84

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

Tabla 6-6: Costos variables

DESCRIPCIÓN	COSTOS (USD)
Salario del operador	375
Producción (48 lt)	43,84
SUB TOTAL	418,84

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

6.1.3 Ventas totales

Son generados por las ventas realizadas o los servicios prestados. En nuestro caso es el valor de todas nuestras ventas de acuerdo al volumen de producción del biodiésel.

El precio de producción diaria biodiésel= $\$43,84 / 12,68 \text{ gl} = \$3,45$ por cada galón de biodiésel.

Hay que tomar en cuenta el subsidio de hidrocarburos que es el 80% en Ecuador, dando un retorno a los ingresos de \$2,70.

Tabla 7-6: Ventas totales

DESCRIPCIÓN	Producción (lt)	Producción (gl)	Días laborables	80% Subsidio hidrocarburos (USD)	COSTOS TOTALES (USD)
Producción	48	12,68	20	2,70	684,72
SUB TOTAL					684,72

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

6.1.4 Punto de equilibrio

Encontrar un parámetro de medición y proyección a futuro, mediante la utilización del presupuesto de costos y gastos, a fin de conocer anticipadamente los costos incurridos y los volúmenes de ventas obtenidos, garantizando una utilidad adecuada para el fabricante.

$$PE = \frac{\text{Costos Fijos}}{1 - \frac{\text{Costos Variables}}{\text{Ventas Totales}}} = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{VT}} \quad (43)$$

$$PE = \frac{2578,92}{1 - \frac{418,84}{684,72}}$$
$$PE = \mathbf{6641,485}$$

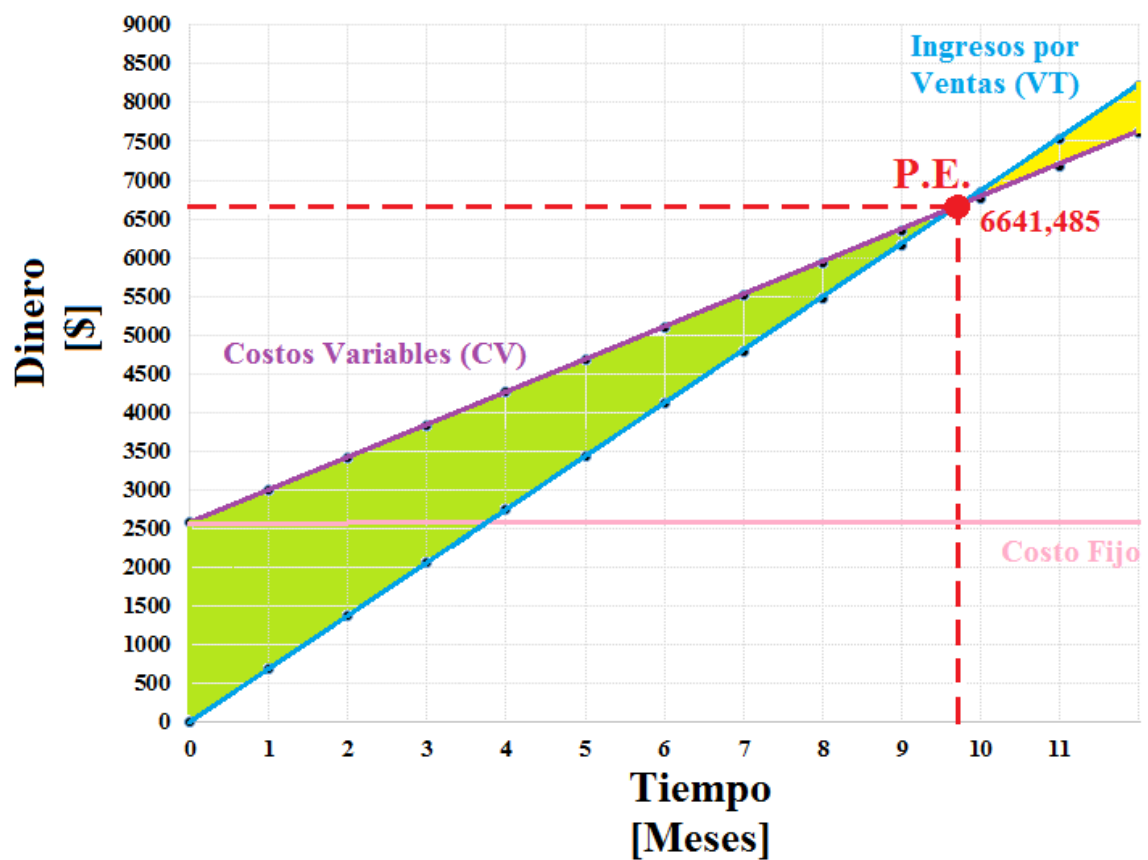


Figura 1-6: Punto de equilibrio

Realizado por: Guido Ávalos, Jorge Velasteguí. 2017

El valor obtenido en nuestro punto de equilibrio significa que para obtener que los costos variables sean iguales a los ingresos por ventas en un periodo de 9 meses aproximadamente. Ya que durante los primeros meses existe pérdidas por la inversión al construir la máquina, salario del operador y materias primas (metanol, sosa cáustica, aceite). Transcurrido los 9 meses en adelante se verá las utilidades de la producción del biodiésel con una ganancia mensual de \$684,72. Lo cual es una cantidad de producción que se encuentra muy accesible en el mercado. Por lo tanto el costo es de \$0,69 por galón de biodiésel, con un subsidio del 80% de hidrocarburos de \$2,70.

CAPÍTULO VII

7 PRUEBAS Y RESULTADOS

Los ensayos realizados en el prototipo de una máquina para obtención de biodiésel tienen por objetivo principal demostrar la eficacia del diseño realizado, de la misma manera corregir los errores presentes en el diseño y construcción que se identifica en esta etapa. También se demuestra que mediante el proceso de transesterificación la obtención del biodiésel es adecuada, donde se comprueba con un análisis midiendo el poder calorífico bruto de muestras obtenidas en varios ensayos, efectuado en la Universidad Central del Ecuador – Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación, en la ciudad de Quito.

7.1 Materiales y métodos

Para evaluar la efectividad de la máquina en correspondencia a la obtención de 5 Litros de biodiésel, se realiza diferentes ensayos que tiene como variable las cantidades de los reactivos en la sosa cáustica, metanol y aceite usado de cocina; es decir encontrar a través de estos experimentos la mayor concentración de poder calorífico en el biodiésel.

Para los ensayos se toma a consideración 4 muestras diferentes, de los cuales dos se escogen para el análisis del poder calorífico bruto del biodiésel, en cada ensayo se utiliza modificaciones de la ecuación estequiometría respecto a la sosa cáustica, metanol y aceite usado de cocina.

Antes de comenzar la prueba se ubican en cada recipiente los reactivos respectivamente y luego se enciende la máquina. En el primer recipiente se agita durante 20 minutos para que pueda disolverse la sosa cáustica en el metanol. Luego en el segundo recipiente el aceite se calienta a 40 °C, esto se controla mediante un sensor de temperatura. A continuación se activa un pulso eléctrico que activa las electroválvulas permitiendo el paso del metóxido y del aceite al tercer recipiente. En el tercer recipiente se agita por 60 minutos para que exista homogenización de los fluidos anteriormente mencionados.

Durante este tiempo permanece encendido el ventilador que ayuda a disminuir la temperatura de la mezcla. Finalmente la máquina se apaga automáticamente, la mezcla debe permanecer en reposo durante 8 horas. Transcurrido este tiempo se forma una película que divide los productos, que por densidades diferentes el biodiésel se encuentra en la parte superior tomando un color ámbar y la glicerina en la parte inferior con un color marrón ya que es el residuo de la reacción.

Para la medición del poder calorífico en biocombustibles se emplea calorímetros mediante el método ASTM D-240, donde consiste en quemar una cierta cantidad de combustible y cuantificar el calor producido a través de energía térmica. El calorímetro se divide en dos cámaras, en una de ellas se pone 2 litros de agua pura, en la otra se ubica 200 mililitros de biodiésel a analizar. Ambas cámaras están separadas por una pared metálica, de modo que los componentes no tienen contacto. Se pone también un termómetro, un dispositivo de agitación y dos barras eléctricas de ignición.

7.2 Resultado y discusión

En el Anexo G, de la Figura 1 y Figura 2, se muestran los resultados del poder calorífico bruto de 2 muestras de 200 ml cada una. Este ensayo fue realizado en la Universidad Central del Ecuador – Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación, en la ciudad de Quito.

En la muestra 1 del biodiésel se utilizó: 1,2 litros de metanol, 36 miligramos de sosa cáustica y 5 litros de aceite usado de cocina (usado una sola vez). Obteniendo 5 litros de biodiésel. Tomando una muestra de 200 mililitros, dando como resultado en el análisis del laboratorio un poder calorífico bruto de 39,2790 MJ/Kg.

En la muestra 2 del biodiésel se utilizó: 1,2 litros de metanol, 36 miligramos de sosa cáustica y 6 litros de aceite usado de cocina (usado 5 veces). Obteniendo 6 litros de biodiésel. Tomando una muestra de 200 mililitros, dando como resultado en el análisis del laboratorio un poder calorífico bruto de 39,2654 MJ/Kg.

En la muestra 3 del biodiésel se modificó la ecuación estequiométrica donde se utiliza 0,6 litros de metanol, 36 miligramos de sosa cáustica y 6 litros de aceite usado de cocina. Obteniendo 6 litros de biodiésel.

En la muestra 4 del biodiésel se utiliza 1,2 litros de metanol, 18 miligramos de sosa cáustica y 6 litros de aceite usado de cocina. Obteniendo 6 litros de biodiésel.

En cada una de las muestras se varía la ecuación estequiométrica con la finalidad de mejorar el poder calorífico bruto del biodiésel, ya que el poder calorífico depende de las cantidades utilizadas de los reactivos, más no del proceso a la obtención del biodiésel.

Se puede concluir que tanto en la muestra 1 al utilizar aceite usado de cocina (usado 1 sola vez), como en la muestra 2 al utilizar aceite usado de cocina (usado 5 veces), el poder calorífico bruto no existe una gran diferencia de valores. Por tanto al utilizar una o varias veces el aceite usado de cocina, se puede obtener satisfactoriamente el biodiésel.

Para la producción de un galón de biodiésel es necesario adquirir varios reactivos, como por ejemplo: 5 litros de aceite que se obtiene mediante donación; 1 litro de metanol con un costo de 2,16 dólares; 3,5 gramos de sosa cáustica con un costo de 0,31 centavos de dólar. Teniendo una inversión de 2,47 dólares por cada galón de biodiésel. Sabiendo que el galón de diésel comercial tiene un valor de 1 dólar. Al producir en grandes cantidades de biodiésel como en Tianjin – China, producen 200 toneladas por día, este biocombustible tiene un costo de 0,80 dólares por galón en el mercado Asiático.

7.3 Conclusiones

- La obtención del biodiésel por medio de la transesterificación a las condiciones dadas se demuestra que es un procedimiento satisfactorio, ya que se obtuvo sin ningún problema resultados favorables, al utilizar aceite usado de cocina por medio de este proceso podemos reducir la contaminación ambiental.
- Los parámetros físicos y químicos de las muestras 1 y 2 del biodiésel a partir de aceite usado de cocina, dieron como resultado un valor de poder calorífico bruto de

39,2790 MJ/Kg y 39,2654 MJ/Kg respectivamente. Tomando como referencia estudios realizados por Andrea Maritza Vivas Castaño, de la Universidad Tecnológica de Pereira en el año 2010, la cual con un poder calorífico de 36,9474 MJ/Kg se asemeja a los resultados obtenidos en el prototipo.

- Al desarrollar la técnica del punto del equilibrio para la determinación de decisiones que satisfaga las expectativas de planeación financiera, se tiene un punto de intersección entre los costos variables y los ingresos por ventas en un periodo de 9 meses aproximadamente, donde existirán utilidades de producción del biodiésel con \$684,72 mensuales.
- Con el poder calorífico bruto obtenido en los ensayos, se recomienda aplicar a motores diésel como: tractor de 2 ruedas, podadora agrícola, bomba agrícola, generadores de electricidad, calefacción en hogares, calderas.

7.4 Recomendaciones

- Es importante realizar la limpieza del aceite usado de cocina mediante un filtro antes de ser almacenado, ya que de esta forma se facilita su posterior manipulación al ingresar a la máquina.
- La sosa cáustica debe estar totalmente disuelta en el metanol, caso contrario esto afecta al resultado final de la obtención de biodiésel, además puede haber deterioro en filtros y la electroválvula, ya que por su composición química es un reactivo altamente corrosivo.
- El biodiésel y el aceite usado de cocina, pueden ser almacenados por un periodo de 6 meses ya que estos son compuestos orgánicos que se degradan con el tiempo.
- Se recomienda evacuar lentamente el biodiésel para evitar que no existan partículas de glicerina en el biodiésel. Caso contrario se deberá esperar un tiempo de 2 horas para que una vez más se separen los dos fluidos

- Para ensayos de poder calorífico en biocombustibles, se recomienda obtener muestras sin partículas de glicerina, ya que los análisis serán nulos.
- El biodiésel tiene problemas de arranque en frío, ya que se congela a 0 °C. Y para su uso en estas condiciones de temperatura es necesario un precalentamiento.
- Al obtener un poder calorífico menor al diésel comercial se recomienda establecer una mezcla con 20% biodiésel y 80% diésel comercial, denominado como B20. Este nuevo combustible es muy similar en potencia, torque y consumo al diésel comercial.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, Nicole, & et al. *Obtención del biodiésel a partir de aceites quemados de comidas al paso por transesterificación para usarlo como combustible de motores.* [En línea] 2015. [Consultado el: 08 de Marzo de 2017.] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/293379674/Trabajo-de-investigacion>.

API-ASME. *Diseño tanques de almacenamiento.* [En línea] 2007. [Consultado el: 21 de Abril de 2017.] Disponible en: www.ugr.es/~aulavirtualpfcic/descargas/documentos/Diseño_Tanques_Almacenamiento.pdf.

BOTANICAL. *Botanical-online.com.* [En línea] Botanical - online SL. 1999-2017. [Consultado el: 25 de Marzo de 2017.] Disponible en: www.botanicalonline.com/aceitesvegetales.htm#.

BONIFAZ TIXI, Cristian Fabian & PALLASCO PAGUAY, Marco Antonio. *Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresa a razón de 100 kg/hora (Trabajo de titulación) (Ingeniería).* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mécanica, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 25-100.

BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de shigley.* México D.F: The McGraw-Hill, 2008. pp. 280-293

CASTELLS, Xavier Elías & ALSINA, Satiago Bordas. *Energía, agua, medio ambiente, territorialidad y sostenibilidad.* Madrid: Editorial Díaz de Santos S.A., 2012. 28037. pp. 847-905

CASTILLO, Aracely. *Diseño del proceso para la producción de 60 toneladas diarias de biodiésel a partir de aceite de palma refinado.* [En línea] 2007. [Consultado el: 03 de Mayo de 2016.] Disponible en: <https://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14533>.

CASTILLO, Vladimir. *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos.* [En línea] 2013. [Consultado el: 14 de Febrero de 2106.] Disponible en: https://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Urbe_Vladimir.pdf.

CEPAL. *Estudio regional sobre economía de los biocombustibles 2010.* Brasilia : 2011. Disponible en: <https://www.cepal.org/es>

CHANGUAN GONZALES, Johanatan Eduardo, & YANCHALIQUIN TIXILEMA, Edgar Estuardo. *Diseño y construcción de una máquina desgranadora de frejol para el Canton Pangua.(Trabajo de Titulación) (Ingeniería), Escuela Superior*

Politecnica De Chimborazo, Mecanica, Ing.mecanica, Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 23-140.

CUEVAS, Iván & CASTILLO, Iván. *Mysteryland*. [En línea] Universidad Politécnica de Zacatecas, 2012. [Consultado el: 28 de 07 de 2016.] Disponible en: <http://themagicalmystery12.blogspot.com/2012/06/poder-calorifico-de-residuos-agricolas.html>.

ELECTROSTORE. *ELECTROSTORE*. [En línea] 2017. [Consultado el: 5 de ENERO de 2017.] Disponible en: www.pololu.com.

FUEL NEXT. *Propiedades y beneficios del biodiésel*. [En línea] 2016. [Consultado el: 29 de Octubre de 2016.] Disponible en: <https://biodiesel.com.ar/propiedades-ybeneficios-del-biodiesel>.

GONZÁLES, Carlos. *La fabril llena más tanques con biodiesel*. [En línea] 12 de Mayo de 2010. [Consultado el: 29 de Diciembre de 2015.] Disponible en: <http://www.revistalideres.ec/lideres/fabril-llena-tanques-biodiesel.html>.

GONZÁLEZ, Iñigo. 2013. *Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saniamiento y coste del tratamiento de depuradoras*. [En línea] Mayo de 2013. [Consultado el: 15 de Marzo de 2017.] Disponible en: www.aguasresiduales.in fo/descargar/re vista/ONsdap8mmTmtNjHdaoxDMpPo8.pdf.

MARTÍNEZ, Oscar Humberto. *Diseño de un prototipo demostrativo para la producción de biodiésel*. [En línea] 2013. [Consultado el: 14 de Abril de 2016.] Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4835/Tesis.pdf?sequence=1>.

MIELES, Glenda Mariela. *Proyecto de desarrollo de una refinería de biodiésel, por medio de la producción existente de palma africana, para su comercialización en la ciudad de Quito*. [En línea] 2010. [Consultado el: 12 de ENERO de 2016.] Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../TESSIBIODIESEL.1.docx>.

NARANJO, Javier. *Aplicación del biodiésel a partir de grasa de cocina y aceite vegetal usado*. Riobamba: 2008.

OIL WORLD STATICS. *Producción mundial de biodiésel*. Madrid: 2015.

RENEWABLE. *Biocombustibles - inversión mundial en biocombustibles*. School - UNEP Collaborating Centre, Frankfurt: 2014.

REVELO, Mariam Gabriela. *Diseño y simulación de una máquina cortadora de patrones*. Quito: 2017.

RIBA, Carles. *Herramientas para el diseño concurrente*. Quito: 2004. pp. -172-222

RIBA, Carles & ROMEVA. *Diseño concurrente*. Barcelona-España: ediciones JPC. 2002. pp. 59-105

SANTOYO, Becky. *Desafío veoverde*. [En línea] 23 de Septiembre de 2015. [Consultado el: 8 de Marzo de 2016.] Disponible en: <https://www.veoverde.com/2014/08/reutiliza-y-recicla-el-aceite-de-cocina-desafio-veoverde/>.

EL UNIVERSO. *Plan permite captar aceite usado de mesa para crear biodiésel*. [En línea] El Universo, 28 de Septiembre de 2015. [Consultado el: 08 de Marzo de 2016.] Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/09/28/nota/5153216/plan-captar-aceite-usado-mesa-crear-biodiesel>.

YORY, Francisco. *Diseño y construcción de una máquina controlada para producción de biodiésel*. [En línea] 2008. [Consultado el: 18 de Noviembre de 2015.] Disponible en: <http://biblioteca.usb bog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/64630.pdf>.